

**RAUHIGKEITSBESTIMMUNGEN AN MENSCHLICHER HAUT
MIT HILFE DES VERFAHRENS DER
PROFILOMETRIE NACH DEM TASTSCHNITTPRINZIP
EINE OBJEKTIVE MESSMETHODE ZUR
BESTIMMUNG DER
HAUTOBERFLÄCHENMORPHOLOGIE**

UWE HOESTERMANN

1986

Digitized by the Internet Archive
in 2026

AUS DER DERMATOLOGISCHEN KLINIK UND POLIKLINIK

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VORSTAND: Prof. Dr. med. Dr. med. h.c. OTTO BRAUN - FALCO

RAUHIGKEITSBESTIMMUNGEN AN MENSCHLICHER HAUT MIT HILFE DES
VERFAHRENS DER PROFILOMETRIE NACH DEM TASTSCHNITTPRINZIP

EINE OBJEKTIVE MESSMETHODE ZUR BESTIMMUNG DER
HAUTOBERFLÄCHENMORPHOLOGIE

DISSERTATION

ZUM ERWERB DES DOKTORGRADES DER ZAHNHEILKUNDE
AN DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER
LUDWIG MAXIMILIANS UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON
UWE HOESTERMANN

AUS
MÜNCHEN

1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter : Prof. Dr. med. Dr. h.c. O. Braun - Falco

Mitberichterstatter: Prof. Dr. H. Goerke

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med F. Ryckmanns

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.01.1987

I. Einleitung

2

II. Hauptteil

3

1.1. Einleitung

3

1.2. Die Verse

3

1.2.1. Der erste

3

1.2.2. Der zweite

3

1.3. Die Prosa

3

1.3.1. Die Prosa

3

1.3.2. Die Prosa in der Prosa

3

1.4. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.1. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.2. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.3. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.4. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.5. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.6. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.7. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.8. Die Prosa in der Prosa

3

1.4.9. Die Prosa in der Prosa

3

1.5. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.1. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.2. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.3. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.4. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.5. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.6. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.7. Die Prosa in der Prosa

3

1.5.8. Die Prosa in der Prosa

3

1.6. Die Prosa

3

1.6.1. Die Prosa

3

1.6.1.1. Die Prosa in der Prosa

3

1.6.1.2. Die Prosa in der Prosa

3

1.6.1.3. Die Prosa in der Prosa

3

1.6.1.4. Die Prosa in der Prosa

3

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1.	Einleitung	1
2.	Methodik:	3
2.1.	Einführung	3
2.2.	Das Gerät	5
2.2.1.	Aufbau	5
2.2.2.	Der Taster	6
2.3.	Die Präparate	7
2.3.1.	Material	7
2.3.2.	Die untersuchten Hautareale	7
2.4.	Die Meßgrößen (Definitionen)	8
2.4.1.	Ertastetes Profil P	8
2.4.2.	Rauheitsprofil R	8
2.4.3.	Welligkeitsprofil W	9
2.4.4.	Maximale Rauhtiefe Rt	9
2.4.5.	Geometrischer Mittenrauhwert Rs	9
2.4.6.	Glättungstiefe Rp	9
2.4.7.	Spitzenzahl S	9
2.4.8.	Tiefenzahl T1	10
	Tiefenzahl T2	
2.5.	Die Problematik der Meßgrößen	11
2.5.1.	Unterschied Profil P - Rauheitsprofil R	11
2.5.2.	Das Filter, Aufbau	11
2.5.3.	Die Filterfunktion	11
2.5.4.	Filtercharakteristik	12
2.5.5.	Die Bedeutung für die Messung an der Haut	14
2.6.	Die Messung	18
2.6.1.	Technik	18
2.6.1.1.	Inbetriebnahme des Gerätes und Justierung	18
2.6.1.2.	Horizontal - und Vertikalvergrößerung	18

2.6.1.3.	Schnittlinienschalter	20
2.6.1.4.	Kontrolle und Säuberung der Hautrepliken	20
2.6.1.5.	Die Fixierung der Präparate	21
2.6.2.	Festlegung der Tastrichtungen	21
2.6.3.	Anzahl der Messungen pro Präparat	23
2.6.4.	Der Meßstreifen	23
2.7.	Tabellarische Auflistung	23
3.	Meßergebnisse	27
3.1.	Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse	27
3.2.	Zur Struktur der Hautoberfläche	28
3.3.	Regionale Rauigkeitsunterschiede der Haut- oberfläche	29
3.3.1.	Unterschiede innerhalb eines Individuums	29
3.3.2.	Unterschiede innerhalb einer Alters- gruppe	29
3.3.3.	Reihenfolge der rauhesten und glattesten Hautareale der drei Altersgruppen	31
3.3.4.	Reihenfolge der rauhesten und glattesten Hautareale im Querschnitt des Probanden- pools	31
3.4.	Altersentwicklung der Haut	32
3.4.1.	Altersentwicklung der Vertikaldimen- sionen und Spitzenzahlen	32
3.4.2.	Altersentwicklung von Vorzugsrichtungen der Hautfurchen	37
3.5.	Geschlechtsunterschiede der Hautrauigkeit	39
4.	Überblick über bisherige Arbeiten auf dem Gebiet der Hautrauigkeitsmessung und Diskussion	40
4.1.	Reibungsmechanisches Verfahren	40
4.2.	Lichtoptische Verfahren	42
4.2.1.	Die Methode der Reflexionsdiffe- renzmessung	42
4.2.2.	Lichtschnittverfahren	43
4.3.	Akustisches Verfahren	43
4.4.	Verfahren der Profilometrie	44
4.5.	Kritische Anmerkungen zur Methodik	49

4.6.	Kritische Bemerkungen zur mathematisch-physikalischen Erfassung der Hautrauigkeit	51
4.7.	Graphisches Verfahren zur genaueren Charakterisierung eines Hautareals mit Hilfe der Profilometrie	56
4.8.	Kritische Anmerkungen zu den Meßergebnissen	72
4.9.	Abschließende Gedanken für das weitere Vorgehen bei Rauigkeitsmessungen	73
5.	Zusammenfassung	74
6.	Tabellarium	77
7.	Literaturverzeichnis	96

1. Einleitung

Bisher wurde in der Dermatologie die Untersuchung von Hautoberflächen nach makroskopischen und mikroskopischen Gesichtspunkten durchgeführt.

Entsprechende Untersuchungsmethoden der Hautoberfläche sind ausser der klinischen Betrachtung die Hautoberflächenphotographie, die epidermale Biopsie und rasterelektronenmikroskopische Untersuchung, die Adhäsionsmethode und das Replikaverfahren.

Der Erfassung der Hautoberfläche werden bei all diesen Verfahren deskriptive Kriterien zu Grunde gelegt, die eine qualitative, dabei jedoch häufig nicht objektivierbare Aussage ermöglichen.

Da quantitative Beschreibungen der Hautoberfläche durch diese makroskopischen und mikroskopischen Untersuchungsmethoden nicht möglich sind, bestand die Aufgabenstellung technisch-physikalische Verfahren zu entwickeln, mit deren Hilfe jederzeit reproduzierbare Meßwerte zur genauen Charakterisierung der Hautoberflächenmorphologie zu gewinnen sind.

Im Verlauf der letzten Jahre sind deshalb verschiedene Verfahren als Lösungen zu dieser Thematik vorgeschlagen worden.

Dabei hat sich die Profilometrie nach dem Tastschnittprinzip als besonders geeignet erwiesen, da sie eine Methode darstellt, die mit relativ einfachen Mitteln Messungen ermöglicht, deren Meßgrößen international gebräuchlich sind und sogar in Din-Normen genau definiert sind.

Das Verfahren fand zunächst überwiegend in der Kosmetologie Anwendung, wobei besonders die Wirkung von "glättenden Externa" auf die Hautoberfläche interessierte, und entsprechende Veränderungen mit einzeln aufgeführten Meßwerten statistisch signifikant erfaßbar waren.

Bei der klinischen Anwendung besteht aber eine besondere Problemstellung darin, daß Hautoberflächen als dreidimensionale Strukturen nicht mit einem Meßwert zu beschreiben sind.

Unter Berücksichtigung dieser Problematik befaßt sich die folgende Arbeit mit dem Verfahren der Rauigkeitsmessung von menschlichen Hautoberflächen nach dem Tastschnittprinzip. Außer der Vorstellung der Methodik, allgemeiner meßtechnischer Probleme, und der mit dem Verfahren gewonnenen Ergebnisse, wird im Rahmen

der Diskussion eine Methode vorgeschlagen, wie mit einfachen graphischen Darstellungsmöglichkeiten eine Zusammenfassung mehrerer Meßgrößen erfolgen kann, so daß dreidimensionale Strukturen der Hautoberfläche quantitativ aussagekräftig erfaßbar werden. Dies wird in der vorliegenden Arbeit anhand einiger exemplarisch ausgewählter Hautareale demonstriert.

2.Methodik

2.1.Einführung

Die Profilometrie nach dem Tastschnittprinzip arbeitet nach folgendem Grundgedanken:

Ein Meßtaster, bestehend aus einer Diamantnadel definierter Form und Größe und einem mechanisch - elektrischen Wandler wird nach dem Plattenspielerprinzip mit einer bestimmten Geschwindigkeit über eine bestimmte Distanz parallel zu einer Oberfläche geführt. Die Diamantnadel folgt allen Unebenheiten der abzutastenden Oberfläche. Die dabei entstehenden Vertikalbewegungen werden vom Wandler in elektrische Signale umgeformt und einem Oberflächen - Meß - und Protokolliergerät zugeführt.

Dieses Gerät hat die Fähigkeit sämtliche eingehenden Daten abzuspeichern und gemäß technischer Definitionen weiterzuverarbeiten. Die errechneten Informationen können als Zahlenwerte nach jedem Tastvorgang einzeln abgerufen, oder auf einem Meßstreifen ausgedruckt werden.

Außerdem kann das Gerät mit einem Schreiber auf demselben Meßstreifen ein Profil des entsprechenden Tastschnittes aufzeichnen. Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau der Apparatur.

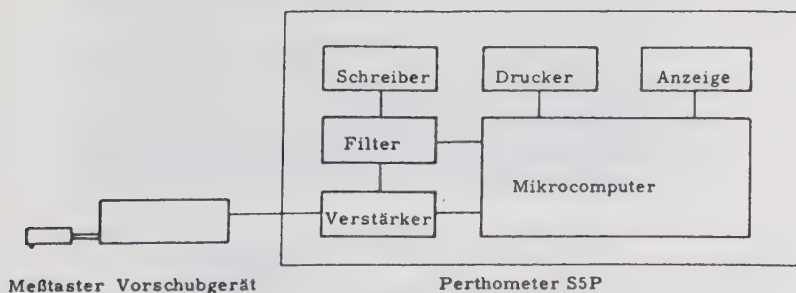


Abb. 1 Schematischer Aufbau der Apparatur.

Abbildung 2 zeigt in einer schematischen Darstellung den Vorgang der Hautrauheitsmessung von der Abdrucknahme bis zum fertigen Tastschnitt.

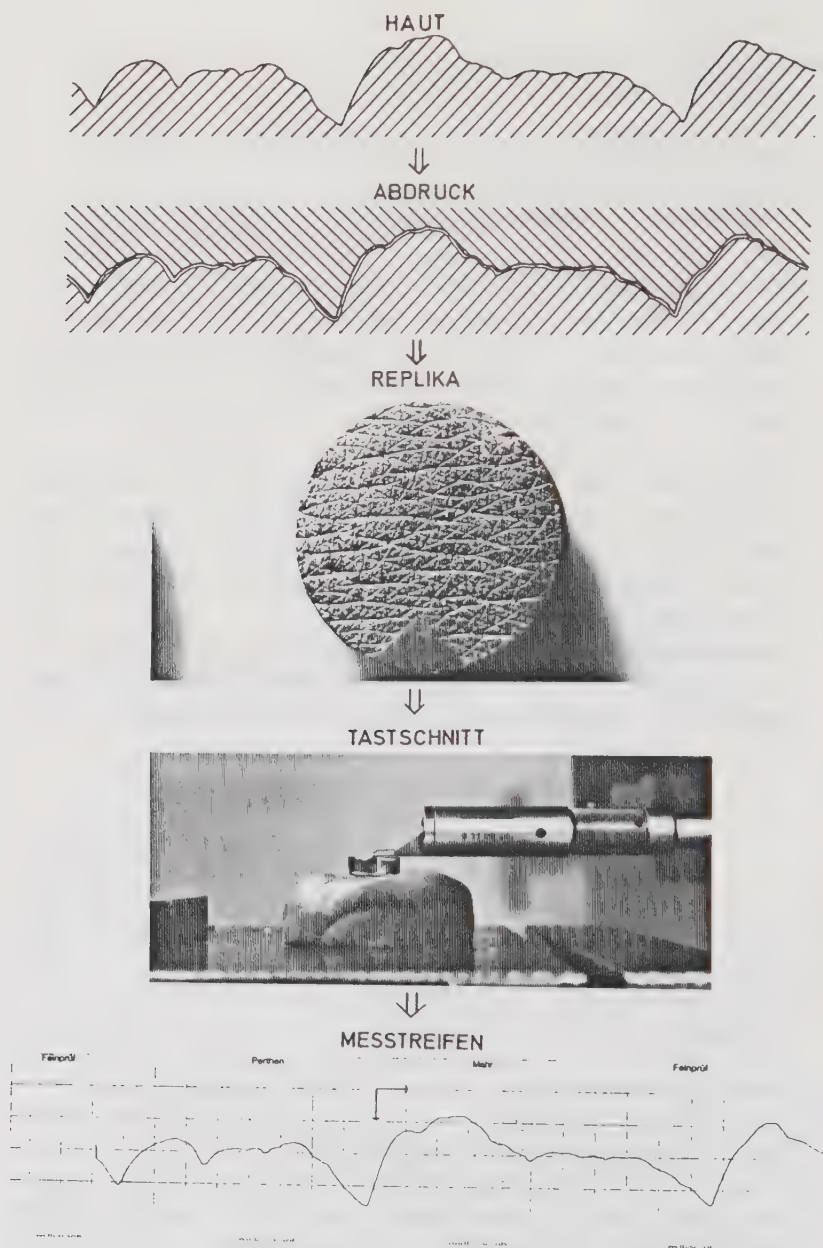


Abb. 2 Schematische Darstellung der Hautrauhigkeitsmessung

2.2. Das Gerät:

Die Apparatur, an der die Messungen durchgeführt wurden, setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

2.2.1. Aufbau:

Das Vorschubgerät PMK mit dem Meßtaster RHTF 250 e (Abb. 2) ist auf dem Meßständer PST - Ue montiert. Als Oberflächen - Meß- und Protokolliergerät dient das Perthometer S 5 P (Abb. 3)

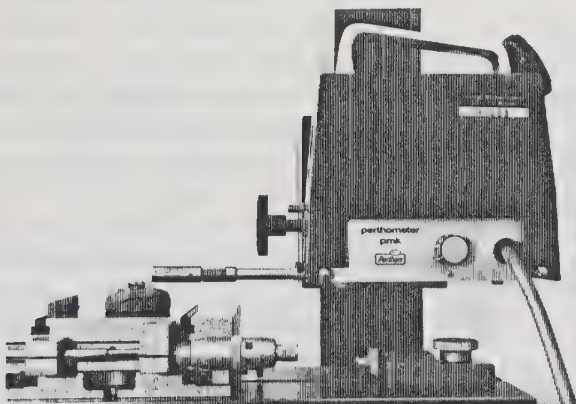


Abb. 3 Vorschubgerät PMK mit Meßtaster RHTF 250 e

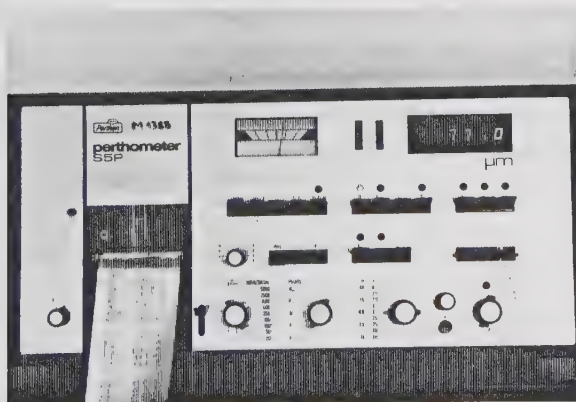


Abb. 4 Perthometer S 5 P

2.2.2. Der Taster:

Bei dem System RHTF handelt es sich um ein Einkufen - Tastsystem, also um ein sogenanntes halbstarres Tastsystem, mit einer kugelförmigen Gleitkufe, deren Kurvenradius 3,2 mm beträgt. Dabei befindet sich der Gleitpunkt 0,5 mm neben der Tastspitze.

Die Hauptanwendung dieses Tastsystems liegt im Bereich des Maschinenbaus; es dient dabei u.a. zur Messung der Rauigkeit von Zahnflanken unterschiedlichster Zahnradsysteme.

Bei der Vermessung von Hautpräparaten ergibt sich bezüglich der Krümmungen der zu vermessenden Oberflächen eine ganz ähnliche Fragestellung.

Der Meßbereich des Tasters RHTF 250 e liegt in einem Bereich von 0 - 250 μm ; damit lassen sich mit geringsten Ausnahmen alle Hautareale des menschlichen Körpers bezüglich ihrer Vertikaldimension vermessen.

Form des Diamanttasters: Flankensteilheit 45° - Öffnungswinkel 90°
Radius der Diamantspitze:
(= Verrundungsradius) = 5 μm .

Abbildung 2 zeigt die Profilkurve einer Hautoberfläche in 200-facher Vergrößerung und die schematische Position von Gleitkufe und Diamanttaster beim Abtastvorgang.

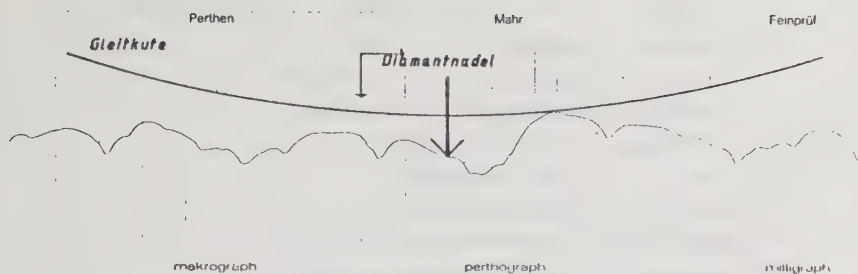


Abb. 5 Profil einer Hautoberfläche mit schematischer Darstellung von Diamanttaster und Gleitkufe des Tastkopfes.
Vergrößerung: horizontal und vertikal 200:1
(1 cm = 50 μ m)

2.3. Die Präparate:

2.3.1. Das Material:

Bei den, für die Messung der Rauheitsparameter verwendeten Präparaten handelt es sich um Gegengüsse von Hautabdrücken, die mit einem Abformmaterial hergestellt wurden, das in der Zahnheilkunde zur Abformung von Kiefern, Zahnbögen und präparierten Kavitäten Verwendung findet (Silikonmasse: Xanthopren plus) Die Gegengüsse wurden im Rahmen der vorangegangenen Arbeit von E. Kampik (9) aus Epon hergestellt, mit Gold bedampft und im Rahmen der o.a. Arbeit rasterelektronenmikroskopisch untersucht.

2.3.2. Die untersuchten Hautareale:

Folgende Gebiete der Haut wurden bei jeweils

- einem 4 - jährigen Knaben
- einem 6 - jährigen Mädchen
- zwei 25 - jährigen Männern
- einer 28 - jährigen Frau
- einem 84 - jährigen Mann
- einer 69 - jährigen Frau

untersucht:

- Handrücken (lockere Handstellung - Finger entspannt)
- Unterarm - Streckseite (Arm gestreckt)
- Unterarm - Beugeseite (Arm gestreckt)
- Ellenbogen (Gelenk ca. 60 Grad abgew.)
- Ellenbeuge (Gelenk gestreckt)
- Tibia (Bein gestreckt)
- Wade (Bein gestreckt)
- Kniescheibe (Gelenk ca. 60 Grad abgew.)
- Kniekehle (Gelenk gestreckt)
- Achsel (Arm nach oben gestreckt)
- Stirn
- Periumbilikalregion (links oder rechts vom Nabel)

Alle Abdrücke sind vom mittleren Bereich des entsprechenden Hautareals entnommen.

2.4. Die Meßgrößen: (Definitionen) (4)

2.4.1. **Ertastetes Profil P:** ist das vom Meßtaster längs der Taststrecke erfaßte Profilbild der Oberfläche; das ertastete Profil P enthält in jedem Fall die Rauigkeit der Oberfläche.

Das Profil P, so wie es der Meßtaster aufnimmt, liegt allen weiteren Auswertungen zugrunde.



2.4.2. **Rauheitsprofil R:** ist das ertastete Profil P nach Filterung mit einem Wellenfilter (Hochpaß) definierter Grenzwellenlänge. (siehe 2.5.1.)

Alle vom Gerät ermittelten Rauheitsparameter beziehen sich auf das Rau-

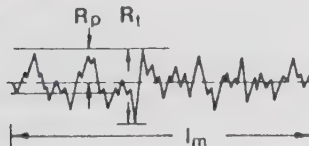
heitsprofil R.



2.4.3. Welligkeitsprofil W: ist das ertastete Profil P nach Filterung mit einem Rauheitsfilter (Tiefpaß) definierter Grenzwellenlänge.



2.4.4. Maximale Rauhtiefe R_t : ist der Abstand zwischen zwei parallelen Begrenzungslinien, die das ertastete Profil P innerhalb der Meßstrecke l_m kleinstmöglich einschließen.



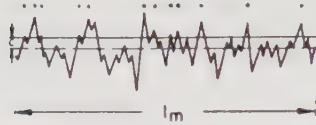
2.4.5. Geometrischer Mittenrauhwert R_s : ist der geometrische Mittelwert aller Abstände des Rauheitsprofils R von der Mittellinie.

$$R_s = \sqrt{\frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} y^2 dx}$$

2.4.6. Glättungstiefe R_p : ist der senkrechte Abstand zwischen höchstem Punkt und Mittellinie des Rauheitsprofils R innerhalb der Gesamtmeßstrecke l_m .

2.4.7. Spitzenzahl S: ist die Anzahl der Erhebungen des Rauheitsprofils R, welche eine einge-

stellte Schnittlinie überschreiten. Schnittlinie ist eine Parallele zu der durch das Filter gebildeten Bezugsmittellinie. Die Bezugsmittellinie wird durch die Diagrammmittellinie dargestellt.



- Spitzenzahl S1: die Schnittlinie liegt oberhalb der Bezugslinie.
- Spitzenzahl S2: die Schnittlinie liegt unterhalb der Bezugslinie.

2.4.8. Tiefenzahl T1:

ist die Anzahl der Profilmerkmale des Rauheitsprofils R, deren Erhebung die eingestellte obere Schnittlinie überschreitet und deren nachfolgendes Tal die eingestellte untere Schnittlinie unterschreitet.

Tiefenzahl T2:

ist die Anzahl der Erhebungen des Rauheitsprofils R, die die eingestellte obere Schnittlinie überschreiten und nachfolgend die durch das Filter gebildete Bezugsmittellinie des Rauheitsprofils R unterschreiten.

2.5. Die Problematik der Meßgrößen:

2.5.1. Unterschied Profil P - Rauheitsprofil R:

Wie schon aus den unter 2.4. aufgeführten Definitionen hervorgeht, müssen das vom Tastsystem tatsächlich erfaßte Profil P und das vom Gerät als Basis aller Auswertungen herangezogene Rauheitsprofil R unterschieden werden.

Aus technischen Gründen werden zur industriellen Auswertung von Oberflächen mit Hilfe von Rauheitsmeßgeräten nur die Rauheitsparameter R_t , R_p , R_s , u.s.w. des zur Basis der Messungen gemachten Rauheitsprofils R verwandt.

Dieses Rauheitsprofil kann, abhängig von der eingestellten Filtercharakteristik des Gerätes, vom tatsächlich durch das Tastsystem erfaßten Profil P abweichen.

Jedes Profil P läßt sich als eine Überlagerung, d.h. Summation von Sinuswellen unterschiedlichster Wellenlängen beschreiben.

Laut Definition ist das Rauheitsprofil R das ertastete Profil P nach Filterung mit einem Wellenfilter (Hochpaß) definierter Grenzwellenlänge.

Die Grenzwellenlänge ist definitionsgemäß die Länge der Sinuswelle, deren Amplitude noch mit 75% übertragen wird.

Durch Wahl einer Grenzwellenlänge wird festgelegt, welche sinusförmigen Einzelkomponenten eines Profils einer Welligkeit W und welche dem Rauheitsprofil R zugeordnet werden.

2.5.2. Das Filter, Aufbau:

Es handelt sich dabei um einen Hochpaß, das heißt um einen Filter aus einer Kombination einer Kapazität C (Kondensator) und einer Induktivität L (Spule) = LC-Filter.

2.5.3. Die Filterfunktion:

Dieser Hochpaß läßt niederfrequente Anteile eines aus mehreren Sinuswellen zusammengesetzten Signals nicht "durch", während die hochfrequenten Anteile dieses Signals unverfälscht durchgelassen

werden.

Die Amplitude, mit der dazwischenliegende Frequenzen übertragen werden, hängt ab von der

2.5.4. Filtercharakteristik:

Die Art des LC - Filters, d.h. dessen Charakteristik ist beim Perthometer S 5 P direkt mit der Gesamtmeßstrecke l_m korreliert, d.h. beim Anwählen einer bestimmten Gesamtmeßstrecke l_m wird automatisch eine bestimmte Filtercharakteristik und Grenzwellenlänge festgelegt. Dabei ist die Meßstrecke l_m fünf mal größer, als die Grenzwellenlänge.

Abb. 6 zeigt die Filtercharakteristik mit Grenzwellenlängen.

Filtercharakteristik mit Grenzwellenlänge

Wellenfilter (Hochpaß) gemäß DIN 4768

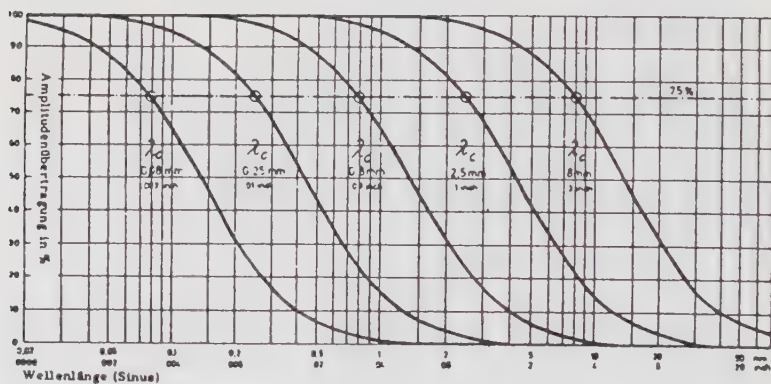


Abb. 6: Filterkurven für das Hochpaßfilter



Abb. 7 zeigt konkret die Unterschiede eines Profils P und des dazugehörigen Rauheitsprofils R. In der dritten Zeile sind zusätzlich alle diejenigen Gestaltabweichungen dargestellt, die der Welligkeit W zugeordnet sind.

2.5.5. Die Bedeutung für die Messung an der Haut:

Bezüglich der Profilometrie von menschlichen Hautarealen ergibt sich aus den oben genannten Eigenschaften des Gerätes folgende Problematik:

- 1.) Der Durchmesser, der zur Verfügung stehenden Hautabdrücke, beträgt ca. 12 mm. Damit ist die längstmögliche Gesamtmeßstrecke im pro Meßvorgang auf 4,8 mm beschränkt.
Eine Vergrößerung dieser Meßstrecke auf die nächst mögliche Länge von 15 mm ist in vielen Fällen auf Grund der natürlichen anatomischen Krümmungsradien in den kutanen Feldern nicht möglich - das Tastsystem kann diesen Krümmungen auf längeren Taststrecken nicht folgen.
Das Tastsystem kann aber auf Grund seiner konstruktiven Merkmale geringe Krümmungen auf kurzen Meßstrecken, wie sie bei der industriellen Auswertung von Zahnflanken auftreten, ohne Meßfehler ausgleichen.
Ähnliche Krümmungsradien liegen bei vielen der untersuchten Hautabdrücke vor, so daß ein Tastschnitt mit einer Gesamtmeßstrecke $l_m = 4,8 \text{ mm}$ immer durchführbar ist.
- 2.) Die Länge der Taststrecke von 4,8 mm bedingt am Perthometer S 5 P aus den unter 2.5.4. aufgeführten Gründen eine Grenzwellenlänge von 0,8 mm, d.h. von einem sinusförmigen Profil P dessen Wellenlänge 0,8 mm beträgt und dessen Profiltiefe 1 mm sei, wird das Gerät eine Rauheitsprofiltiefe $R_t = 0,75 \text{ mm}$ liefern. Daraus folgt ein Fehler von 25% .

Im Folgenden soll deshalb der Frage nachgegangen werden, wie groß die Fehler bei der Profilometrie von menschlichen Hautarealen sind:

Zunächst muß nochmals festgehalten werden, daß sich jedes Profil P als eine Überlagerung von Sinuswellen unterschiedlichster Wellenlänge beschreiben läßt.

Dabei unterscheidet man nach Fourier Grundwelle und 1., 2., 3., u.s.w. Oberwelle.

Um die genaue Größe des Fehlers bei der Profilometrie der Präparate angeben zu können, wäre eine Frequenzanalyse jedes einzelnen

Hautpräparates durchzuführen, um über die Wellenlängen von Grund- und Oberwellen Aufschluß zu erhalten.

Dies jedoch würde das Verfahren so komplizieren, daß es nicht mehr dienlich wäre, schnellen Aufschluß über die Rauheitsparameter der Haut zu geben.

Näherungsweise läßt sich jedoch ein größtmöglicher Fehler unter der Annahme angeben, daß die Grundwellenlänge gleich dem mittleren Rillenabstand S_m ist.

Dieser Fehler beträgt dann beispielsweise bei einem Rillenabstand von 1 mm entsprechend der Filtercharakteristik und der verwendeten Grenzwellenlänge = 0,8 mm 35% (siehe Abb.6).

Da jedoch die Hautprofile in ihrem Verlauf beträchtlich von dem einer Sinuswelle abweichen, und die Grundwellenlänge für o.a. Fall geringer als 1 mm angenommen werden kann, wird auch der Fehler entsprechend niedriger liegen.

In der Form der Hautprofile liegt ein weiterer Faktor, der den effektiven Fehler kleiner macht, als den maximal möglichen Fehler; folgendes Bild soll dies veranschaulichen:

Hautrillen stellen in keinem Fall negative Halbwellen eines Sinus dar, sondern immer V-förmige Zacken mit unterschiedlicher Flankensteilheit. Felderhaut liefert folgendes schematisierte Bild:



Abb. 8 Felderhaut schematisiert

Bei hinreichend schmalen Tälern wird deshalb unabhängig von der Tiefe der Rillen und selbst bei sehr großen Rillenabständen, der Fehler vernachlässigbar gering.

Bei Kenntnis der mittleren Rillenabstände S_m können für die einzelnen Hautareale die maximal möglichen Fehler angegeben werden. Das Perthometer S 5 P liefert den mittleren Rillenabstand S_m nicht; der Wert kann aber auf sehr einfache Weise empirisch aus den Meßstreifen ermittelt werden, da die makroskopisch sichtbaren Hautfalten in jedem Falle in der Profilaufzeichnung identifizier-

Mit Hilfe des auf dem Meßstreifen vorhandenen 1 cm - Rasters können die Rillenabstände sehr leicht ausgezählt werden.

Anhand der auf Seite 12 dargestellten Filtercharakteristik kann nun direkt der maximal mögliche Fehler bestimmt werden.

Für die meisten Hautareale kann schon *prima vista* auf Grund einer sehr feinen Strukturierung ein vernachlässigbar kleiner Fehler angenommen werden.

- bei Kindern: - Handrücken
- bei Kindern und Erwachsenen: - Unterarm Streckseite
- Unterarm Beugeseite
- Schienbein
- Waden
- bei allen Altersgruppen: - Achsel
- Stirn
- Periumbilikalregion

Lediglich in den Gelenkbereichen lassen die Tastschnitte in Querrichtung zu den großen Hautfalten höhere Fehler erwarten.

Ähnliches gilt für die Hautrepliken von Extremitätenarealen alter Menschen, da hier die normale Strukturierung ganz oder teilweise aufgelöst ist, oder im Vergleich zu "jüngerer Haut" stark verändert wird.

Wie das auf Seite 26, Abb.12 als Beispiel gezeigte Meßprotokoll verdeutlicht, sind Hautlinien bei typischer Altershaut nur selten eindeutig identifizierbar. Vielmehr zeigt das aufgezeichnete Profil in vielen Fällen Profilanteile, die einer Sinuswelle stark ähneln. Dabei liegen die Wellenlängen zwischen 200 μm und 900 μm , woraus sich empirisch ermittelte mittlere Rillenabstände S_m von 600 - 700 μm ergeben.

Aus der Filtercharakteristik resultiert ein mittlerer Übertragungsfehler von ca. 20%. Da die maximalen Einzelrillenabstände auch im extremsten Fall 1000 μm nicht überschreiten, liegt der maximal mögliche Fehler bei den größten Rillenabständen in kei-

nem Fall über 35% .

Da sich der Fehler für die auftretenden Rillenabstände zwischen 10% und 35% bewegt, ergibt sich ein effektiver Fehler von maximal 25% , der beim Vergleich homologer Hautareale einen Wert von durchschnittlich 10% annehmen dürfte und damit vernachlässigbar gering ist.

2.6. Die Messung:

2.6.1. Technik:

2.6.1.1. Inbetriebnahme des Gerätes und Justierung:

- erfolgt gemäß Betriebsanleitung (4)

2.6.1.2. Horizontal - und Vertikalvergrößerung:

Der Papiervorschub wird am Horizontalschalter eingestellt.

Es handelt sich dabei um einen Drehschalter mit neun Schaltstellungen zur Wahl der Horizontalvergrößerung für die Diagrammaufzeichnung und die Tastgeschwindigkeit.

Die zur Verfügung stehenden Tastgeschwindigkeiten liegen bei 0,5 mm /s und 0.1 mm /s , wobei letztere am Gerät mit einem Stern gekennzeichnet ist.

Schaltstellung Horizontalmaß ($\mu\text{m}/\text{cm}$)	Papierge- schwindigkeit (mm/s)	Horizontal- vergrößerung	Tastgeschwin- digkeit v_T (mm/s)
5.000	1	2 : 1	0,5
2.500	2	4 : 1	0,5
1.000	5	10 : 1	0,5
500	10	20 : 1	0,5
250	20	40 : 1	0,5
100	50	100 : 1	0,5
<u>100</u>	10	100 : 1	<u>0,1</u>
50	20	200 : 1	0,1
20	50	500 : 1	0,1

Tab. 1: Die zur Verfügung stehenden Tastgeschwindigkeiten und Horizontalmaße

Dabei wurde die Tastgeschwindigkeit $v_T = 0.1 \text{ mm/s}$ aus folgendem Grund gewählt: Eine elektronische Komponente des LC - Filters besteht aus einem Schwingkreis, der bei hohen Tastgeschwindigkeiten ein Überschwingverhalten zeigt, das um so stärker ausgeprägt ist, je höher die Abweichungen des Profils von der Mittellinie sind, und je größer die Flankensteilheit dieser Abweichungen ist.

Bei Profilverläufen mit derart großen Niveauunter-

schieden aufeinanderfolgender Profilmerkmale (bis zu $220\text{ }\mu\text{m}$), wie sie bei der menschlichen Haut auftreten können, ist deshalb die langsame Tastgeschwindigkeit $v_t = 0.1\text{ mm/s}$ zu wählen.

Damit kann eine Verzerrung des Rauheitsprofils und ein Fehler bei der Übertragung der verwendeten Rauheitsparameter auf Grund des Überschwingverhaltens des Filters vermieden werden.

Die Vertikalvergrößerung wird am Vertikalschalter eingestellt: Es handelt sich dabei um einen Drehschalter mit acht Schaltstellungen, über den automatisch auch der Anzeigebereich des Gerätes ausgewählt wird.

Schaltstellung Vertikal	Anzeigebereich (μm)	Profilaufzeichnung	
		Vertikalmaß** ($\mu\text{m}/\text{cm}$)	Vertikalvergrößerung
25	1250*	250	40 : 1
10	500*	100	100 : 1
5	250	50	200 : 1
2,5	125	25	400 : 1
1,0	50	10	1.000 : 1
0,5	25	5	2.000 : 1
0,25	12,5	2,5	4.000 : 1
0,1	5	1	10.000 : 1

Tab. 2: Tabelle für Meßtaster mit Meßbereich $250\text{ }\mu\text{m}$

Da für alle Präparate sinnvollerweise der gleiche Vergrößerungsmaßstab gelten sollte, die höchsten Niveauunterschiede wie bereits angedeutet bei $220\text{ }\mu\text{m}$ liegen, und die Breite des Meßstreifens möglichst voll ausgenutzt werden sollte, ergibt sich damit ein Vertikalmaß von $50\text{ }\mu\text{m}/\text{cm}$ auf dem Meßstreifen.

Bei einem Verhältnis Vertikalmaß : Horizontalmaß = 1 : 1 erhält man unhandlich lange Profilmeßstreifen. Dies begründet, warum die Horizontalvergrößerung auf die Hälfte im Verhältnis zur Vertikalvergrößerung reduziert wurde.

Außerdem wurde durch diese "Stauchung" erreicht, daß die Profilmerkmale dem Auge des Betrachters wesentlich prägnanter erscheinen.

2.6.1.3. Schnittlinienschalter:

Es handelt sich um einen Drehschalter mit sechs Schaltstellungen zum Einstellen der Schnittlinien für Spitzen- und Tiefenzählung gemäß der Definitionen (siehe 2.4.). Es werden gleichzeitig zwei horizontale Schnittlinien gebildet, die im gleichen Abstand oberhalb und unterhalb der Profilmittellinie verlaufen.

Der Abstand der Schnittlinien zur Profilmittellinie ergibt sich aus der Formel:

$$\text{Schnittlinienfaktor} \times \text{Vertikalmaß} = \text{Schnittlinienab-} \\ \text{stand von der} \\ \text{Mittellinie}$$

$$\text{also z.B.} \quad 0.2 \quad \times \quad 50 \mu\text{m} \quad = \quad 10 \mu\text{m}$$

Die Schnittlinien, deren Abstände somit $10 \mu\text{m}$ von der Mittellinie betragen, definieren eindeutig die Profilmerkmale $S1 / S2$ und $T1 / T2$.

2.6.1.4. Kontrolle und Säuberung der Hautrepliken:

Vor der eigentlichen Messung sind die Präparate gründlich zu reinigen:

Feinste Bläschen, die während der Abdrucknahme durch die Verdrängung des Abformmaterials auf Grund von Schweißabsonderung entstehen und/oder Artefakte durch Lufteinschlüsse darstellen, tauchen im Epon-Gegenguß, also im zu vermessenden Präparat, in Form von Perlen wieder auf, deren Haftung auf der Oberfläche so gering ist, daß sie vom Tastsystem abgerissen werden und sich teilweise zwischen Gleitkufe und Diamantspitze des Tasters festsetzen und so innerhalb kürzester Zeit eine teilweise oder totale Blockierung der Diamantnadel bewirken.

Um diese Fehlerquelle auszuschließen, mußten sämtliche Präparate auf diese perlenförmigen Verunreinigungen hin unter einem Stereomikroskop mit 50facher Vergrößerung untersucht werden und mit einer fein angeschliffenen Stahlnadel (Reißnadel) gründlich gesäubert werden.

2.6.1.5. Die Fixierung der Präparate:

Die Fixierung der Präparate erfolgt in einer Knetmasse (Plastilin o.ä.) auf einer stabilen Unterlage. Auf diese Weise können Neigungen und Krümmungen eines Präparates individuell ausgeglichen werden und eine saubere Führung des Tastsystems parallel zur abzutastenden Oberfläche erreicht werden.

Auf eine Führung im Kreutztisch zur exakten Positionierung der Tastschnitte in definierten Abständen mußte bewußt verzichtet werden.

Begründung: Die Oberflächenkrümmungen machen eine Umfixierung des Präparates zwischen den einzelnen Tastschnitten häufig notwendig, sodaß definierte Abstände der Tastschnitte nicht einzuhalten sind.

2.6.2. Festlegung der Tastrichtungen:

Die Festlegung der Tastrichtungen in Querläufe und Längsläufe ist aus folgenden Gründen unbedingt notwendig:

- 1.) Zur Bestimmung von Vorzugsrichtungen
- 2.) Um jederzeit reproduzierbare Werte zu erhalten.

Zur Festlegung der Laufrichtungen orientiert man sich an den großen, deutlich sichtbaren Hautfalten, die in den meisten Fällen quer zur Körperachse verlaufen.

Als Querlauf wird diejenige Tastrichtung definiert, die genau senkrecht zu den großen Hautlinien verläuft, also in Körperachse. Diese Tastrichtung ist gleichzeitig Vorzugsrichtung, da sie in den meisten Fällen die höchsten Werte für die Rauheitsparameter liefert.

In Zweifelsfällen, in denen eine eindeutige Zuordnung in Quer- und Längslauf nicht möglich ist, kann folgendes Verfahren weiterhelfen:

Für den eigentlichen Abdruck wird ein Abdeckpflaster mit einem kreisrunden Ausschnitt von ca 12 mm Durchmesser vorbereitet, an dem an beliebiger Stelle des Kreisbogens ein Markierungs Pfeil in Form eines Dreiecks verbleibt. Diese Abdeckung wird so aufgelegt, daß die Markierung nach kaudal zeigt.



Abb. 9 Replika mit Markierung

Im Epon-Gegenguß erscheint die Markierung wieder und läßt die genaue Rekonstruktion der Verlaufsrichtung der Hautfalten zu. Die Richtung, in die der Markierungspfeil weist, stellt somit die Richtung der Querläufe dar.

Ausnahmen:

1.) Unterarm Streckseite:

In diesem Fall liegt ein "Gitternetz" von Hautfalten vor, das diagonal zur Verbindungslinie kranial-kaudal verläuft. Sollte eine visuelle Festlegung der Vorzugsrichtung nicht möglich sein, so muß eine endgültige Orientierung an Hand der ermittelten Werte erfolgen.

2.) Achsel:

Bei diesem Hautareal handelt es sich um funktionell beanspruchte Haut, bei der die Vorzugsrichtung funktionsbedingt in Armachse liegt.

2.6.3. Anzahl der Messungen pro Präparat:

Da ein einmaliger Tastschnitt pro Laufrichtung als zu ungenau angesehen werden muß, wurden als Mindestzahl 5 Tastschnitte pro Laufrichtung durchgeführt. Damit ergeben sich insgesamt 10 Tastschnitte pro Präparat. Diese Anzahl genügt, um immer hinreichend genau reproduzierbare Meßergebnisse zu erhalten (siehe auch 3.1.).

2.6.4. Der Meßstreifen:

Für jeden Tastschnitt liegt somit ein gesonderter Meßstreifen vor. Es werden aber nicht in jedem Falle Profilaufzeichnungen durchgeführt, sondern pro Laufrichtung nur 1 bis 2 Profile in den Meßstreifen aufgenommen, da dies zu Dokumentationszwecken (u.a. Bestimmung des mittleren Rillenabstandes S_m) vollauf genügt. Auf den Seiten 24 - 26 sind einige Beispiele vollständiger Meßprotokolle der jeweiligen Einzelmessung dargestellt:

für: Abb. 10 : 25 J / männlich	Kniescheibe	Querlauf
Abb. 11 : 28 J / weiblich	Stirn	Querlauf
Abb. 12 : 84 J / männlich	Unterarm - Beugeseite	Querlauf

2.7. Tabellarische Auflistung:

Die zu einer Laufrichtung gehörenden Meßstreifen werden zusammengefaßt und die Meßergebnisse der 10 Einzelmessungen in eine Tabelle übertragen. Aus den vorhandenen fünf Einzelmeßergebnissen pro Laufrichtung werden Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung errechnet. Diese beiden Werte werden ebenfalls in die Tabelle übernommen.

PERTHOMETER

PRUEFER:

DATUM:

WERKSTUECK:

TASTER:

LT 4,80 MM

λ 0,80 MM

RMAX 156,5 μ M

RZ 122,2 μ M

RA 28,4 μ M

RS 35,6 μ M

RT 161,1 μ M

RP 82,5 μ M

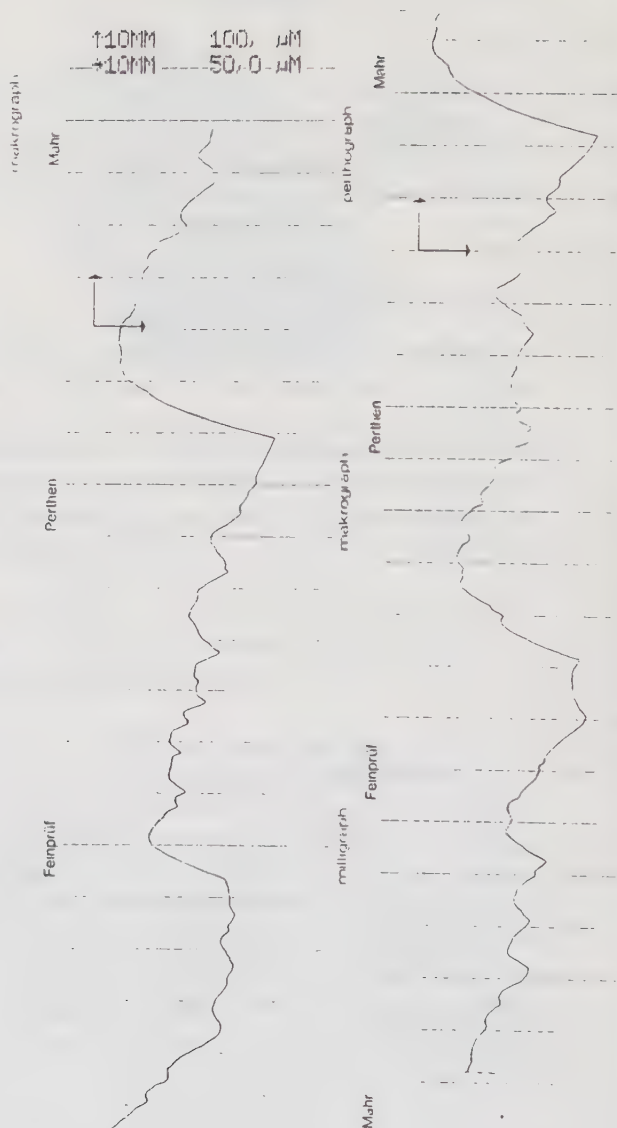


Abb. 10 25 J / männlich
Kniescheibe / Querlauf

PERTHOMETER	
PRUEFER:	
DATUM:	
WERKSTUECK:	
TASTER:	
LT	4,80 MM
λ	0,80 MM
RMAX	60,6 μ M
RZ	42,7 μ M
RA	8,1 μ M
RS	10,2 μ M
RT	68,8 μ M
RP	37,1 μ M

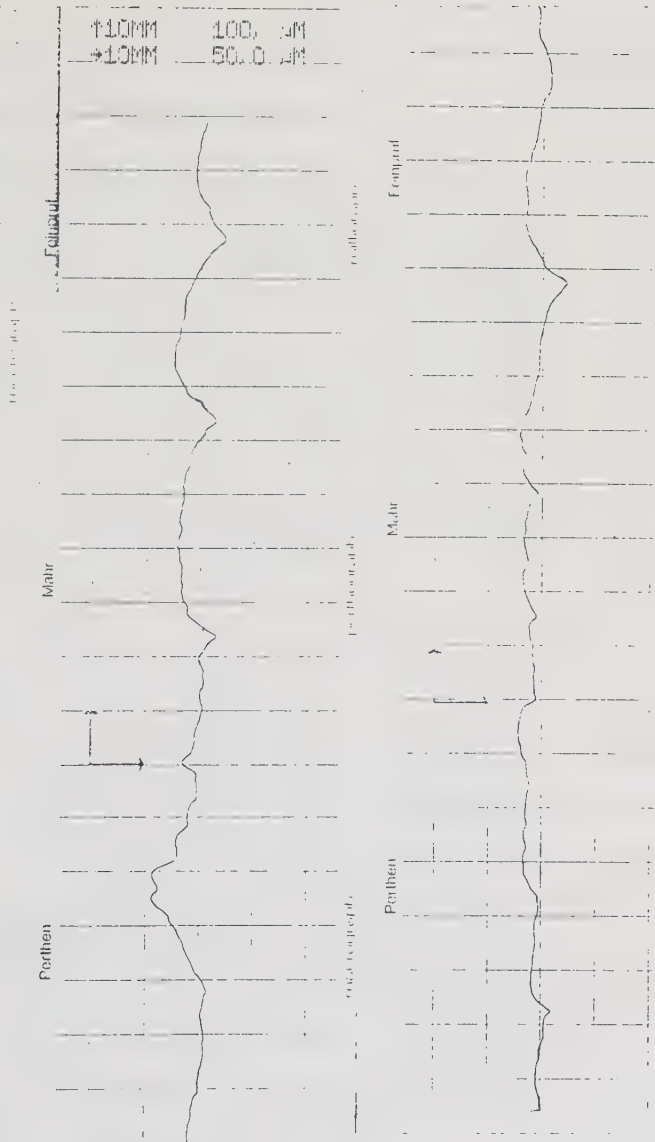


Abb. 11 28 J / weiblich
Stirn / Querlauf

PRUEFER:
 DATUM: _____
 WERKSTUECK: _____
 TASTER: _____

LT _____ 4,80 MM
 Z _____ 0,80 MM

RMAX _____ 53,1 μ M
 RZ _____ 38,7 μ M
 RA _____ 8,8 μ M
 RS _____ 10,9 μ M
 RT _____ 55,8 μ M
 RP _____ 12,2 μ M

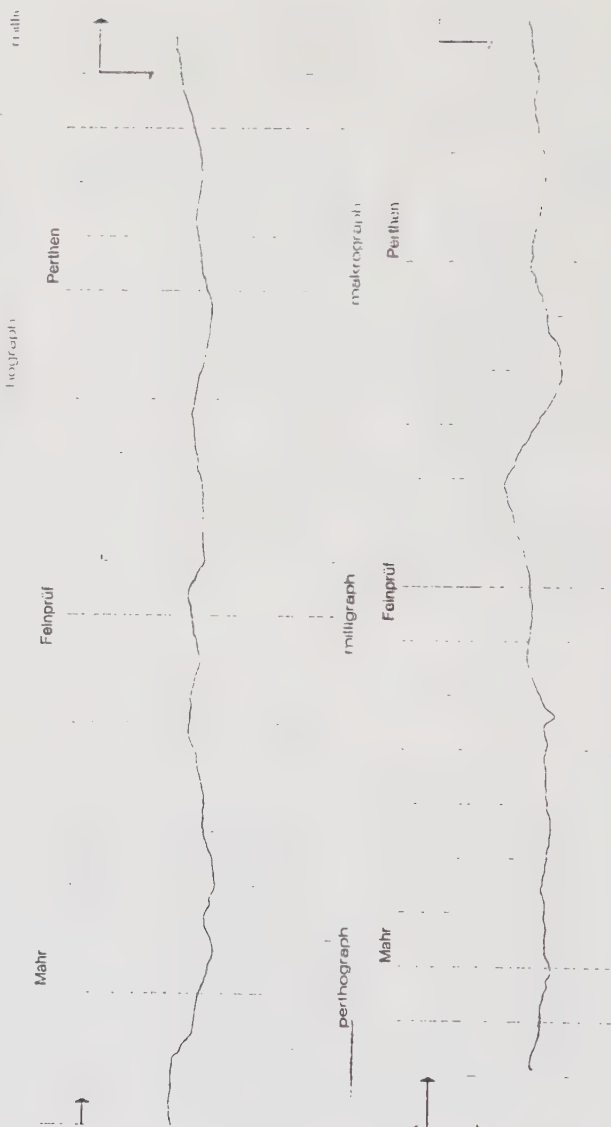


Abb. 12 84 J / männlich
 Unterarm - Beugeseite /
 Querlauf

3. Meßergebnisse

3.1. Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse:

An einer Hautreplik wurden unabhängig voneinander und zu verschiedenen Zeiten je 5, 10 und 20 Einzelmessungen durchgeführt.

1. Die Mittelwerte aus diesen Meßzyklen differieren nur geringfügig, so daß im Weiteren der Mittelwert aus fünf Einzeltastschnitten pro Laufrichtung und Präparat als hinreichend exakt betrachtet wird.

2. Gleichzeitig zeigen die geringfügigen Differenzen der Mittelwerte der Rauheitsparameter eines Hautareals bei der unterschiedlichen Anzahl von Tastschnitten, daß die Mittelwerte der Einzelmessungen reproduzierbar sind.

Tabelle 3 zeigt die Meßergebnisse der Querläufe von der Unterarm-Beugeseite eines 25-jährigen Mannes bei jeweils 5, 10 und 20 Einzelmessungen.

Zahl d. Einzelmessungen	Rs	Rt	Rp	S2	S1	T2	T1
5	12.9	73.3	30.8	75	46	40	37
10	13,4	71.3	30.1	74	52	49	43
20	13.1	70.7	28.7	74	58	54	47

Tab. 3: Zum Nachweis der Reproduzierbarkeit der Rauheitsparameter
Angaben in μm

3.2. Zur Struktur der Hautoberfläche:

Untersucht man die Streuungen von 5 Einzelmessungen aller Hautrepliken an Hand der Standardabweichungen, so zeigt sich, daß sich die Standardabweichungen des geometrischen Mittenrauhwertes R_s zwischen $0,5$ und $4 \mu m$ bewegt. Dies entspricht in ca. $2/3$ aller Messungen einem Anteil von $3 - 15 \%$ der Mittelwerte, in Einzelfällen können 40% erreicht werden.

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Höhe des R_s - Wertes, also der Rauigkeit eines Präparates, und der Höhe der Standardabweichung bzw. deren prozentualem Anteil am jeweiligen Gesamtwert ist nicht festzustellen.

Für die übrigen Rauheitsparameter R_z , R_a , R_t und die Spitzen- und Tiefenzahlen gelten die selben Werte.

Lediglich die Standardabweichungen für die Glättungstiefe R_p liefern durchschnittlich höhere prozentuale Anteile der jeweiligen Mittelwerte. Der Schwankungsbereich liegt hier zwischen 8 und 35% , wobei einige "Ausreißer" auch die 50% - Marke übersteigen können.

Aus den durchschnittlich relativ geringen Schwankungsbreiten der Einzelmessungen um einen Mittelwert ist zu entnehmen:

1) Bei der Morphologie eines Hautareals handelt es sich bezüglich der Oberflächencharakteristika um eine sehr kontinuierliche dreidimensionale Struktur, die keine größeren Unregelmässigkeiten in bestimmten periodischen Profilmerkmalen aufweist.

2) Aus dieser Tatsache ergibt sich, daß fünf Einzelmessungen pro Tastrichtung ausreichen, um hinreichend genaue Durchschnittswerte zu erhalten. (siehe 3.1.: Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse)

3.3. Regionale Rauigkeitsunterschiede der Hautoberfläche:

3.3.1. Unterschiede innerhalb eines Individuums:

In Abbildung 13 sind die Querläufe sämtlicher vermessener Hautrepliken eines 6-jährigen Mädchens in einem Histogramm aufgeführt. Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe R_t und die Spitzenzahl S_l jeweils in einem Doppelbalken für jedes Hautareal.

(übrige Meßergebnisse s. Tabellarium)

Die Orientierung zur Bewertung der Rauigkeit erfolgt an der maximalen Rauhtiefe R_t . Bei annähernd gleichgroßen Werten für R_t wird dasjenige Hautpräparat das rauhere sein, das einen höheren Anteil an Profilmerkmalen S_l aufweist.

An Hand dieses Histogrammes zeigt sich, daß die verschiedenen Hautareale eines Probanden bezüglich ihrer Rauigkeit z.T. stark differieren.

3.3.2. Unterschiede innerhalb einer Altersgruppe:

Vergleicht man homologe Hautareale zweier gleichaltriger Probanden bezüglich der gängigen Rauheitsparameter tabellarisch, so zeigt sich teilweise eine starke individuelle Schwankungsbreite. Tabelle 4 vergleicht die Meßergebnisse aller vermessenen Hautareale für die Rauheitsparameter R_s (geometrischer Mittenrauhwert), R_t (maximale Rauhtiefe), R_p (Glättungstiefe) der beiden erwachsenen Männer.

Querläufe	Handrücken	U-Arm Streck.	U-Arm Beuges.	Ellenbogen	Ellenbeuge	Schienbein	Wade	Kniescheibe	Kniekehle	Achsel	Stirn	Periumb.
R_s (μm)	17 26	9 16	14 12	26 15	18 17	16 7	7 12	38 25	21 14	19 31	11 13	32 25
R_t (μm)	97 135	59 97	82 73	139 89	84 87	102 47	46 73	186 130	105 74	109 155	67 86	168 121
R_p (μm)	42 56	34 44	35 30	63 43	41 40	56 25	18 32	96 56	46 33	46 69	30 40	78 53

Tab. 4 Rauheitsparameter R_s , R_t , R_p zweier erwachsener Männer



3.3.3. Reihenfolge der rauhesten und glattesten Hautareale der drei Altersgruppen

Betrachtet man die Mittelwerte der maximalen Rauhtiefen R_t homologer Hautareale einer Altersgruppe, so läßt sich für die jeweilige Altersgruppe eine Reihenfolge der rauhesten und glattesten Hautareale aufstellen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefaßt, wobei oben die rauhesten und unten die glattesten Hautareale aufgeführt sind.

Rt der Querläufe	Kinder	Erwachsene	alte Menschen
rauheste Hautareale	Kniescheibe Achsel U-Arm Strecks.	kniescheibe Achsel Periumbilik./ Ellenbogen	Ellenbeuge Achsel Periumbilik.
glatteste Hautareale	U-Arm Beuges. Tibia / Wade Stirn	Stirn Wade Tibia	Ellenbogen Handrücken Tibia

Tab. 5 Verzeichnis der rauhesten und glattesten Hautareale innerhalb der drei Altersgruppen

3.3.4. Reihenfolge der rauhesten und glattesten Hautareale im Querschnitt des Probandenpools.

Betrachtet man die Mittelwerte der maximalen Rauhtiefe R_t homologer Hautareale aus dem gesamten Probandenpool, so läßt sich eine Reihenfolge der durchschnittlich rauhesten und glattesten Hautareale für alle Altersgruppen aufstellen.

Die im Durchschnitt rauhesten Hautareale sind:

- die Kniescheibe mit einem Wert für R_t = 128 μm ;
- die Achsel mit einem Wert für R_t = 123 μm ;
- die Periumbilikalregion mit einem Wert für R_t = 115 μm ;

Die im Durchschnitt glattesten Hautareale sind:

- das Schienbein mit einem Wert für $R_t = 67 \mu\text{m}$;
- die Stirn mit einem Wert für $R_t = 75 \mu\text{m}$;
- die Wade mit einem Wert für $R_t = 76 \mu\text{m}$;

Die maximalen Rauhtiefen der übrigen Hautareale bewegen sich zwischen $90 \mu\text{m}$ und $100 \mu\text{m}$.

3.4. Die Altersentwicklung der Haut:

3.4.1. Die Altersentwicklung der Vertikaldimensionen:

Anhand der Darstellungsmethode eines Doppelbalkens für R_t und S_l zur Charakterisierung eines Hautpräparates wird die Altersentwicklung der Vertikaldimensionen und der Spitzenzahlen der Hautoberfläche untersucht. Beide Parameter ergeben in ihrer Kombination einen Anhaltspunkt für die Strukturierung der Hautoberfläche. Dazu werden die homologen Hautareale aller sieben Probanden nach Geschlechtern getrennt in einem Histogramm aufgezeichnet.

(s. Tabellarium)

Die maximale Rauhtiefe R_t wird wieder durch die dickeren linken, die Spitzenzahl S_l durch die schmalere rechten Balken dargestellt.

Als Beispiel sind hier die Histogramme der Querläufe der Unterarm - Beugeseiten und der Handrücken aufgeführt. (s. Abb. 14 und Abb. 15)

Die Einzelergebnisse lassen sich tabellarisch zusammenfassen:

Kennzeichnet man die Rauheitsmaxima in der Altersentwicklung mit einem $\oplus$ und Rauheitsminima mit einem $\ominus$, so läßt sich bezüglich der Quer- und Längsläufe folgende Aussage machen:

1.) Querläufe:

- a) Bei Männern und Frauen deutet sich eine Häufung von Rauheitsmaxima in der Vertikaldimension mit zunehmendem Alter an.
- b) Die Spitzenzahlen S_l zeigen in den meisten Fällen Minima im Alter, oder zumindest Minima bei den Erwachsenen. Auffällig sind die meist großen Sprünge in der Altersentwicklung der Spitzenzahlen S_l zwischen Kindern und Erwachsenen.

2.) Längsläufe:

- a) Die Werte für die maximale Rauhtiefe R_t zeigen bei Männern Rauheitsmaxima im Alter.
Für Frauen ergibt sich eine Häufung von Rauheitsminima im Erwachsenenalter.
- b) Die Spitzenzahlen S_l nehmen bei Männern mit dem Alter ab und zeigen in vielen Fällen Minima bei alten Menschen.
Bei Frauen ist das Verhältnis von Spitzenzahlen-Minima bei Erwachsenen zu Spitzenzahlen-Minima bei alten Menschen 1 : 1.

Anhand der getrenntgeschlechtlichen Einzelbetrachtung homologer Hautareale aller Altersgruppen läßt sich zur Altersentwicklung der Hautoberfläche folgende Aussage treffen:

Mit zunehmendem Alter wird die Haut bezüglich ihrer Vertikaldimension rauher, die Spitzenzahlen S_l nehmen ab, die Strukturierung wird grober.

- Kinder besitzen bezüglich der Quersläufe die in der Vertikaldimension glatteste, aber auch meist die am feinsten strukturierte Haut (sehr hohe Spitzenzahlen).
- Erwachsene Frauen besitzen bezüglich der Längsläufe die in der Vertikaldimension glattesten Hautareale, in 50 % der Fälle auch die Hautareale mit den geringsten Spitzenzahlen S_l .
- Durch den Alterungsprozess nehmen die Vertikalabweichungen der Haut bei Quer- und Längsläufen zu, während die Strukturierung grober wird (erkennbar an der Abnahme der Spitzenzahlen).
Eine Ausnahme stellen die Längsläufe der erwachsenen Frauen dar, die fast ausschließlich Rauheitsminima aufweisen.
- Im Alter zeigt die Haut die stärkste Furchung (maximale Rauheitswerte in Vertikalrichtung), während die Strukturierung äußerst grob wird, zum Teil sogar gänzlich verschwindet.
- Eine Ausnahme bezüglich der Altersentwicklung der Vertikaldimension stellt der Handrücken dar. Hier erfolgt im Alter eine Glättung während die Faltendichte ähnlich allen anderen Hautarealen abnimmt.

Rt/S1

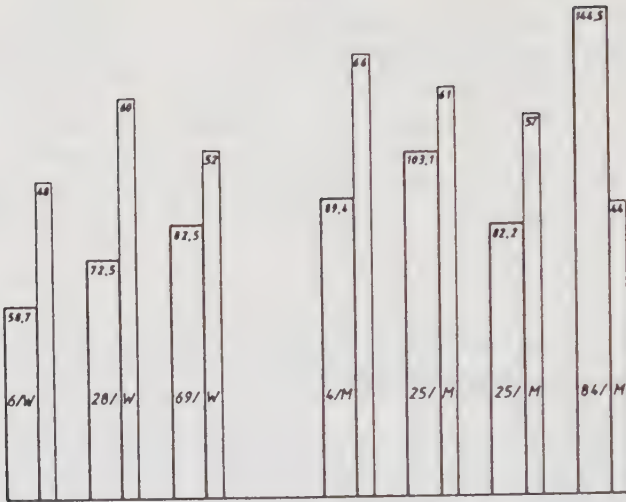


Abb. 14 Altersentwicklung der Unterarm-Beugeseite / Querläufe;
zur Darstellung kommen die Rauheitsparameter Rt u. S1;

Rt/S1

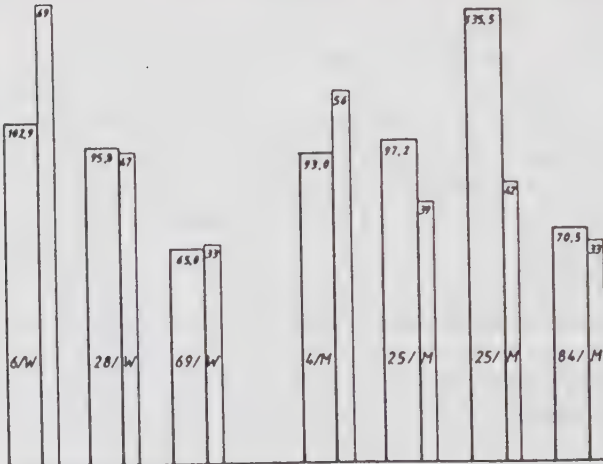


Abb. 15 Altersentwicklung des Handrucksens / Querläufe;
zur Darstellung kommen die Rauheitsparameter Rt u. S1;

QUERLÄUFE

MÄNNER		HAUTAREAL	FRAUEN	
Entwicklung von S_1	Entwicklung von Rauhigkeitsmaxima Kind Erwachsene Alter		Entwicklung von S_1	Entwicklung von Rauhigkeitsmaxima Kind Erwachsene Alter
Min. im Alter	-	HANDRÜCKEN	Min. im Alter	-
Min. im Alter	+	U-ARM STRECKS.	Min. im Alter	+
Min. im Alter	+	U-ARM BEUGES.	Abnahme im Alter	+
kein Trend erkennb.	+	ELLENBOGEN	kein Trend erkennb.	+
Max. im Alter	+	ELLENBEUGE	Max. im Alter	+
Min. im Alter	kein Trend erkennbar	SCHIENBEIN	Min. bei Erw.	+
Min. im Alter	+	WADE	Min. im Alter	kein Trend erkennbar
Abnahme im Alter	+	KNIESCHNUR	Min. im Alter	+
Min. bei Erw.	+	KNIEKEHLE	kein Trend erkennb.	+
Min. bei Erw.	+	ACHSEL	Abnahme im Alter	+
Min. bei Erw.	+	STERN	Min. im Alter	+
Min. bei Erw.	+	PERIUMBILIKAL	Min. bei Erw.	+

+ = Rauhigkeitsmaxima

- = Rauhigkeitsminima

Tab. 6 Die Altersentwicklung der Haut bezüglich der Querläufe

LÄNGSLÄUFE

MÄNNER		HAUTAREAL	FRAUEN	
Entwicklung von S_1	Entwicklung von Rauhigkeitsmaxima Kind Erwachsene Alter		Entwicklung von S_1	Entwicklung von Rauhigkeitsmaxima Kind Erwachsene Alter
Abnahme im Alter	-	HANDRÜCKEN	Min. bei Erw.	-
Abnahme im Alter	+	U-ARM STRECKS.	Min. bei Erw.	-
Min. im Alter	+	U-ARM BEUGES.	Min. bei Erw.	-
Min. bei Erw.	-	ELLENBOGEN	Abnahme im Alter	+
Max. im Alter	+	ELLENBEUGE	Min. im Alter	-
Min. im Alter	-	SCHIENBEIN	Min. bei Erw.	-
Min. bei Erw.	+	WADE	Min. im Alter	-
Abnahme im Alter	kein Trend erkennbar	KNIESCHNUR	Min. im Alter	-
Min. im Alter	kein Trend erkennbar	KNIESCHNUR	Min. bei Erw.	-
Min. bei Erw.	+	ACHSEL	Min. bei Erw.	+
Min. im Alter	+	STERN	Min. im Alter	+
Min. im Alter	+	PERIUMBIKAL	Min. im Alter	-

+ = Rauhigkeitsmaxima

- = Rauhigkeitsminima

Tab. 7 Die Altersentwicklung der Haut bezüglich der Längsläufe

3.4.2. Altersentwicklung von Vorzugsrichtungen der Hautfurchen:

Zur Untersuchung der Altersentwicklung von Vorzugsrichtungen werden als Hautpräparate mit deutlicher Vorzugsrichtung alle diejenigen definiert, bei denen die geometrischen Mittenrauhwerte R_s des Quer- und Längslaufes um $5 \mu m$ oder mehr differieren.

Hierzu werden die R_s - Werte der Quer - und Längsläufe aller zur Verfügung stehenden Hautrepliken tabellarisch aufgelistet und alle Fälle, für die obige Bedingung erfüllt ist, mit einem + gekennzeichnet (s. Tab. 8).

Es fällt eine Häufung von Hautarealen mit deutlicher Vorzugsrichtung bei Altershaut auf, d.h. mit zunehmendem Alter werden die tiefen Hautrillen der Querlaufrichtung vertieft, während die flacheren Hautrillen der Längslaufrichtung sich relativ dazu eher abflachen.

Abbildung 16 zeigt einige ausgewählte Hautareale des 6-jährigen Mädchens und der 69-jährigen Frau.

Zur Darstellung kommen die geometrischen Mittenrauhwerte R_s der Quer- und Längsläufe in einem Histogramm mit Doppelbalken.

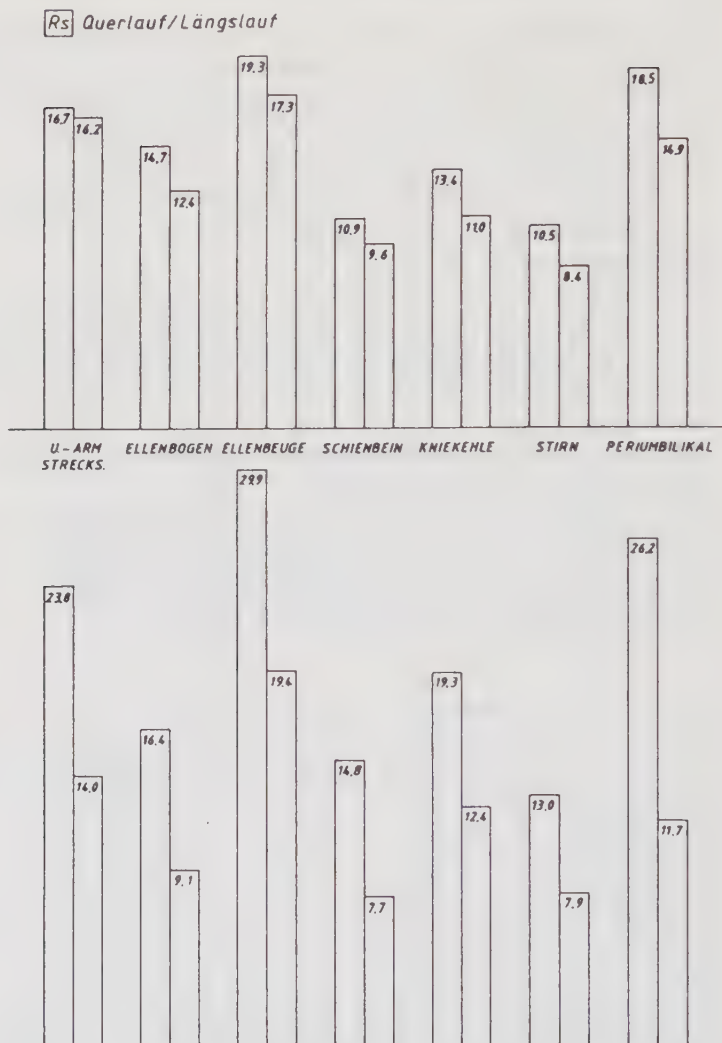
Auffällig sind die deutlichen Unterschiede der Rauigkeit in der Vertikalen zwischen Quer- und Längslauf im Alter.

ÜBERSICHT DER ALTERSENTWICKLUNG VON VORZUGSRICHTUNGEN

	4/M	6/W	25/M	25/M	28/W	84/M	69/W
HANDRÜCKEN	+	+	+	+	+	-	-
UNTERARM STRECKS.	+			+		+	+
UNTERARM BEUGES.						+	
ELLENBOGEN					+		+
ELLENBEUGE				+		+	+
SCHIENBEIN						+	+
WADE						+	
KNIESCHEIBE	+		+	+	+	+	
KNIEKEHLE			+		+	+	+
ACHSEL	+		+				
STIRN							+
PERIUMBILIKAL						+	+

Tab. 8 Übersicht der Altersentwicklung von Vorzugsrichtungen.

6-jähriges Mädchen Querlauf/Längslauf



69-jährige Frau Querlauf/Längslauf

Abb. 16 Zur Dokumentation der Altersentwicklung von Vorzugsrichtungen

3.5. Geschlechtsunterschiede der Hautrauhigkeit:

Um die Geschlechtsunterschiede der Hautrauhigkeit zu erfassen, benötigt man einen Zahlenwert, der die Gesamtrauhigkeit eines Hautareals bezüglich seiner Vertikalabweichungen erfaßt.

Dieser Wert ergibt sich aus $\sum R_s \text{ quer} / R_s \text{ längs}$.

Führt man eine Auflistung dieser Summenwerte so durch, daß sich die Geschlechter der jeweiligen Altersgruppe gegenüberstehen (s. Tab 9), so fällt auf, daß das männliche Geschlecht bei erwachsenen und alten Menschen bei fast allen Hautarealen bezüglich der Vertikalparameter "rauher" ist, als das Weibliche.

Für Kinderhaut gilt diese Aussage nicht, d.h. bei Kindern sind, abgesehen von wenigen Ausnahmen, die Vertikalparameter homologer Hautareale innerhalb gewisser Grenzen ziemlich identisch.

DOKUMENTATION: SUMMENWERTE DER GEOMETRISCHEN MITTENRAUHWERTE VON MÄNNERN UND FRAUEN

	6/W	4/M	28/W	25/M	25/M	69/W	84/M
HANDRÜCKEN	32,3	29,5	21,6	27,6	42,8	23,1	25,0
UNTERARM STRECKS.	32,9	29,5	17,4	22,2	28,0	37,8	45,4
UNTERARM BEUGES.	23,8	32,3	25,3	33,0	27,3	33,4	48,0
ELLENBOGEN	27,1	31,3	40,1	51,9	29,7	25,5	24,3
ELLENBEUGE	36,3	33,6	33,4	35,8	40,6	49,3	<<
TIBIA	20,5	24,6	12,1	29,7	15,8	22,5	19,5
WADE	20,5	26,0	20,7	13,9	21,3	20,4	44,1
KNIESCHEIBE	45,0	46,5	32,2	51,0	46,7	18,6	45,7
KNIEKEHLE	24,4	25,6	21,7	35,0	27,5	31,7	42,2
ACHSEL	38,7	35,1		33,2	60,6	41,8	54,5
STIRN	18,9	19,4	23,9	23,4	25,5	30,9	34,0
PERIUMBILIKAL	33,4	26,3	29,6	61,6	52,3	37,9	48,5

Tab. 9 Geschlechtsunterschiede der Hautrauhigkeit

4. Überblick über bisherige Arbeiten auf dem Gebiet der Hautrauhigkeitsmessung und Diskussion:

In Dermatologie und Kosmetologie dient vor allem die makroskopische Betrachtung dazu, die Hautoberflächen und deren physiologische oder pathologische Veränderungen zu beschreiben.

Ein ganz wesentlicher Aspekt, die Rauigkeit der Hautoberfläche, kann dabei nur unzulänglich erfaßt werden.

Aus diesem Grund wurden unterschiedlichste Versuche gemacht, die Hautrauhigkeit zu messen. Bei den dabei angewendeten Methoden handelt es sich um:

1. reibungsmechanische Verfahren
2. lichtoptische Verfahren
3. akustische Verfahren
4. Verfahren der Profilometrie nach dem Tastschnittprinzip

Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die bisherigen Arbeiten auf dem Gebiet der Hautrauhigkeitsmessung (s.S. 41)

4.1. Reibungsmechanisches Verfahren:

Eine Reihe von Dermatologen und Kosmetologen entwickelten Verfahren zur Bestimmung des Reibungskoeffizienten der Haut unter bestimmten meßtechnischen Gegebenheiten. Alle Autoren gingen von der Überlegung aus, daß für die Haut prinzipiell die selben Reibungsgesetze gelten müssen, wie für jede andere Oberfläche:

$$R = \mu \cdot F$$

Bei Kenntnis der zu messenden Reibungskraft R und einer konstanten Auflagekraft F kann der Reibungskoeffizient μ bestimmt werden, der ein direktes Maß für die Glätte einer Hautoberfläche darstellt.

Autor	Meßverfahren	Meßgerät	Rauheitsparameter	Meßmodus	Oberfläche	Untersuchungsgebiet
Naylor	Reibungsmechan. Verfahren	Gleitkopf	Reibungszahl $R = u \times f$	gleitende Stahl- oberfläche	natürliche Haut	Reibungszahlen trockener, feuchter u. fettiger Hautober- flächen
El Shind	Reibungsmechan. Verfahren	mod. Rotations- viskosimeter	Reibungszahl $R = u \times f$	$U/\min = \text{konst.}$	natürliche Haut	einfache Messung der Hautrauhigkeit
Jordan/ Streckert	Reibungsmechan. Verfahren	mod. Rotations- viskosimeter	Reibungszahl $R = u \times f$	$U/\min = \text{variab.}$	natürliche Haut	einfache Messung der Hautrauhigkeit
Weinlein	Reibungsmechan. Verfahren	Gleitkopf	Reibungszahl $R = u \times f$	gleitende Sand- papieroberfl.	natürliche Haut	einfache Messung der Hautrauhigkeit
Trennier	Reflexionsdiffr. Messung	Elrepho	Reflexionsdiff. Reflex.abn. in %	Reflexionsdiff. messg. b. ≈ 620	natürliche Haut	Abnutzungsdermatose Schädigung der Haut d. Reinigungsmittel
Szakall	Lichtschnitt- verfahren	unbekannt	$R = K/s$	—	natürliche Haut	einfache Messung der Hautrauhigkeit
Trennier	akust. Verf.	Gleitschleifan mit Mikrophon	Rauschintensität	—	natürliche Haut	Prüfung von Raster- hilfsmitteln
Salfeld/ Gebhard	Profilometrie	Hommel - Rau- tiefenmeßger.	R_a, R_z, R_p	X aus 3 Meß- reihen $s = 6,3mm$ $s = 2,5mm$	Abdr.: Algetral Pos.: Xanthopren	Wirkungsweise von Hautcremas auf die alternde Haut
Marks/ Pearse	Profilometrie	Surfometer	planimetrische Auswertung	—	Skin Surface Biopsies SSB's	Geschlechtsuntersch. Altersentwicklung Hydrat.-vera. Psoriasis
Nichols/ Marks	Profilometrie	Surfometer	—	—	Silflo	Intrakorneale Kohä- lenkräfte
Nichols/ King/Marks	Profilometrie Planimetrie	Surfometer	Planimetr. Auswertg mittlere Spitzen- höhe	—	SSB's/Silflo	Wirkung von Bade- sitzen u. Hautcremas auf tiefere Schichten d. Stratum corneum
Barbenel	Profilometrie Frequenzanalyse	Tallysurf 4	—	—	unbekannt	Rauhigkeit, i. Abh. v. der Tastschnittrichtg
Makki	Profilometrie	Tallysurf 4	R_a	X aus 5 Messg. Tastschn. 0 u. 90° zu d. Hautf.	unbekannt	Unterarm- und Bauch- region
Cook	Profilometrie	Surfometer	$R_a, R_p, R_n, R_m,$ R_z, R_s	$s = 10mm$	Abdr.: Silflo Pos.: Embed 812	Hydratationsversuche
Hoppe I II	Profilometrie Profilometrie Frequenzanalyse	unbekannt unbekannt	$R_a, R_z, R_p, R_t,$ R_{max} dto.	12 Tastschn. redikt. Tastschn. 0 u. 90° zu d. Hautf.	Abdr.: Silflooft Profilumkehr Abdr.: Xanthop. Profilumkehr	statist. Altersentw. Wirkungsopt. v. Ext. Wirkungsweise von Externa auf Frequenz- spektren der Haut

$\bar{x}$ = Mittelwert, s = Grenzwellenlänge, s = Tastschnittrichtung

Tab. 10 Überblick über die bisherigen Arbeiten auf dem Gebiet der Hautrauhigkeitsmessung

Bei dieser Methodik wurden zwei Verfahren angewendet:

1. Bestimmung der Reibungskraft R mit Hilfe eines Tastkopfes definierter Form, der von entsprechender Apparatur mit konstanter Geschwindigkeit über die zu vermessende Oberfläche geführt wird.
2. Bestimmung der Reibungskraft R mit Hilfe eines modifizierten Rotationsviskosimeters.

Naylor (14) wandte Verfahren 1 an. Er untersuchte das unterschiedliche Verhalten der Reibungseigenschaften in Abhängigkeit des Oberflächenzustandes der Haut, und fand dabei, daß die Reibungskräfte sinken, wenn die Haut trocken, fettig oder sehr naß ist und daß sie steigen, wenn die Haut feucht ist.

El - Shimi (3) fand die selben Ergebnisse mit der Methode der Reibungskraftbestimmung mit Hilfe eines modifizierten Rotationsviskosimeters.

R. Jordan und G. Streckert (7) modifizierten das Verfahren, indem sie die Reibungskoeffizienten bei unterschiedlicher Rotationsgeschwindigkeit der Sonde ermittelten.

S. Weinstein (23) benutzte für die Untersuchung der Hautglätte dasselbe Prinzip wie Naylor; als Referenzoberflächen, die über die Haut gezogen wurden, dienten allerdings Sandpapierstreifen unterschiedlichster Körnung.

4.2. Lichtoptische Verfahren:

4.2.1. Die Methode der Reflexionsdifferenzmessung: (18/21)

Grundgedanke ist, daß sich ein Farbstoff (Methylenblau / Hostapermblau), der auf die Haut aufgetragen wird, entsprechend der Form und Struktur der Falten an die Hautoberfläche adsorbiert und ihr eine andere Farbe gibt.

Die Reflexionsdifferenz, gemessen bei 620 nm für ungefärbte und gefärbte Haut, ist ein direktes Maß für die Hautrauhigkeit.

Prof. Dr. H. Tronnier und Dr. I. Eisbacher (21) fanden mit

dieser Methode eine deutliche Rauigkeitszunahme der Haut nach Anwendung von Waschlotionen.

4.2.2. Lichtschnittverfahren:

Szakall (19) erwähnt in seinem Buch "Die Wirkung von Waschmitteln auf die Haut" Lichtschnittaufnahmen von Koehler und Herrmann.

Dabei wird ein beleuchteter Spalt auf die Haut projiziert, die Aufnahme erfolgt unter 45 Grad zur Hautoberfläche. Man erhält "ein Bild von der Oberfläche der lebenden Haut ähnlich dem eines histologischen Hautschnittes."

Nach diesem Verfahren ist das Verhältnis der Länge des betreffenden Lichtschnittkurvenzuges K zur Länge einer geraden Strecke S vom Anfang bis zum Endpunkt des Kurvenzuges ein Maß für die Rauigkeit; es gilt:

$$R = K / S$$

Ideal glatte Haut hätte demnach den Wert $R = 1$.

Für glatte Hautareale ergeben sich Werte um 1,2 die bei rauher Haut auf Werte um 2 ansteigen können. Die Imprägnierung der Haut mit fluoreszierenden Substanzen führt zu besonders plastischen Resultaten.

4.3. Akustisches Verfahren:

Ein akustisches Verfahren zur Prüfung von Rasierhilfsmitteln beschreibt H. Tronnier (20).

Der Autor schlägt einen speziellen Schlitten vor, auf dem ein Mikrophon montiert ist, das beim Gleiten über die Hautoberfläche den Rauscheffekt der Barthaare akustisch aufnimmt und die entstandenen Signale einem Verstärker und nachfolgend einem Meßinstrument zuführt.

Das Verfahren ist geeignet die Wirkung von Rasierhilfsmitteln auf die Rasur zu dokumentieren.

4.4. Verfahren der Profilometrie:

Neuerdings hat das Verfahren der Profilometrie von Hautabdrücken mit Tastschnittgeräten, wie sie in der Metallindustrie zur Dokumentation von Oberflächengüte und Verschleißerscheinungen gebräuchlich sind, auch als Hilfsmittel zur Rauheitsmessung an Hautoberflächen Anwendung gefunden.

Der Vorteil dieser Methodik liegt in der Definition bestimmter Rauheitsparameter, die weltweit von allen Herstellern solcher Geräte übernommen wurden. Dadurch sind Meßergebnisse, die mit Hilfe der Profilometrie gewonnen werden, jederzeit nachvollziehbar.

In Deutschland sind die Rauheitsparameter in den Din - Vorschriften 4762 - 4768 genau definiert.

Mit Hilfe der Profilometrie nach dem Tastschnittprinzip ist es möglich von der Haut bezüglich ihrer vertikalen Schwankungen um eine Profilmittellinie definierte Kenngrößen der Rauigkeit zu erhalten, mit Hilfe derer Hautareale eines oder mehrerer Probanden untereinander verglichen werden können, oder mit statistischen Methoden die Wirkung von Externa auf die Hautoberfläche zu überprüfen.

Insbesondere in der kosmetischen Industrie findet das Verfahren häufig Anwendung, da zum ersten Mal ein mathematisch-technisch exaktes Instrument zur Verfügung steht, um die Wirksamkeit von Produkten mit physikalisch-objektiven Größen dokumentieren zu können.

Salfeld und Gebhardt (17) wandten die Methode der Profilometrie an, um vergleichende Untersuchungen zur Wirkungsweise von Hautcremes auf die alternde Haut durchzuführen.

Die Hautrepliken stellten sie mit Algetral als Negativabdruckmasse und Xanthopren für die Positive her.

Für die Auswertung der Versuchsreihen wurden die Rauheitsparameter R_a , R_z und R_p herangezogen, die als Mittelwerte aus je drei "Meßreihen" bei einer Tastschnittlänge von 6,3 mm und einem "cut off" von 2,5 mm ermittelt wurden.

Beim untersuchten Probandenpool handelte es sich ausschließlich um Frauen, die in zwei Altersgruppen eingeteilt wurden.

Als Ergebnis zeigte sich für behandelte Hautareale in fast allen Fällen eine Erhöhung der Rauheitsparameter gegenüber den unbehan-

delten Erstabdrücken. Diese überraschende Tatsache wird auf die intra- und extrazelluläre Aufnahme von Wasser ins Stratum corneum und die dadurch bedingte Volumenzunahme im Bereich zwischen den großen Hautfalten zurückgeführt.

Marks und Pearse (13) entwickelten ein ganz spezielles Abdruckverfahren, das ihnen besonders bei der Bestimmung der intracornealen Kohäsionskräfte dienlich ist:

Skin Surface Biopsies (SSBs) (Marks und Dawber / 1971) (12) werden dergestalt hergestellt, daß ein Tropfen Cyanoacrylat - Kleber auf einem Objektträger aus Glas aufgebracht wird und gegen das Hautareal gedrückt wird, das untersucht werden soll. Nach 20 Sekunden wird der Objektträger zusammen mit einer dünnen Schicht Stratum corneum von wenigen Zellen Dicke abgehoben.

Für das Verfahren der Profilometrie von Hautoberflächen ist diese Methode ungünstig, da durch den Preßvorgang eine nicht unerhebliche Verzerrung der Hautstruktur eintreten dürfte, die beispielsweise weit über die Veränderungen, die durch Einwirkungen von Externa entstehen, hinausgeht.

Des weiteren wird eine dünne Schicht Hornzellen abgezogen, so daß nicht das unmittelbare Hautoberflächenrelief vermessen wird.

Mit Hilfe eines Surfometers der Planer Products LTD. wurden die Profile auf Meßstreifen aufgezeichnet und anschließend planimetrisch ausgewertet. Als Maß für die Rauigkeit wurde die "Fläche unter der Kurve" in einem Profilsegment definierter Länge bestimmt. Die Anzahl der Täler wurde abgezählt und deren absolute Tiefen ausgemessen.

Bei der Untersuchung der Unterarme von vier Männern und vier Frauen konnten keine Geschlechtsunterschiede festgestellt werden. Eine Altersentwicklung konnte nicht nachgewiesen werden.

Bezüglich verschiedener Hautareale eines Probanden konnten geringe Unterschiede festgestellt werden.

Hydratationsversuche am Unterarm zeigten im Mittel ein Flächenmaximum und ein Maximum der absoluten Spitzenhöhen bei einer Hydratationszeit von drei Stunden.

Für die pathologisch veränderten Hautareale von sechs Patienten

mit Psoriasis ergab sich eine deutliche Erhöhung der Flächenwerte gegenüber nicht befallener Haut von Psoriatikern. Letztere unterschieden sich nicht von Probanden mit normaler Haut.

Das Verfahren nach dem Marks und Pearse (13) arbeiteten, um die Rauigkeit der Haut zu beschreiben, muß bei den heute vorhandenen Möglichkeiten, die die Profilometrie auf Grund der Definitionen von Rauheitsparametern bietet, als zu aufwendig angesehen werden.

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen und Erkenntnissen von Marks und Pearse (13) haben Nichols und Marks (16) Untersuchungen über intracorneale Kohäsionskräfte durchgeführt.

Sie stützten sich dabei wieder auf die Methode der SSBs, wobei die bei der Durchführung eines solchen Abdruckes abgehobenen Hornschichtdicken als direktes Maß für die Kohäsionskräfte angenommen wurden.

Zwischen den einzelnen SSBs wurden Hautabdrücke mit dem Material "Silflo" gewonnen, die jeweils den Zustand der Hornschichtoberfläche nach einer SSB dokumentieren sollten.

An Hand der Profilometrie dieser Abdrücke wurde gezeigt, daß eine Abflachung der Hornschichtoberfläche eintritt, je mehr Zellagen vom Stratum corneum auf Grund der durchgeführten SSBs abgehoben werden.

Die Befunde sprechen dafür, daß die intracornealen Kohäsionskräfte der Zellverbände kontinuierlich mit zunehmender Tiefe größer werden.

Nichols, King und Marks (15) interessierte die Wirkung von Badezusätzen und Hautcremes auf die tieferen Schichten des Stratum corneum, wobei wiederum das Kombinationsverfahren der SSBs und die Profilometrie zur Anwendung kam. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede der behandelten Haut zur unbehandelten Kontrollgruppe gefunden werden.

Bei Verwendung anderer Hautcremes und Vermessung von Oberflächenrepliken mit Silflo als Abdruckmaterial konnte dagegen durchaus eine Abnahme der von Marks und Pearse (13) angegebenen Parameter festgestellt werden.

Barbenel und Mitarbeiter (1) führten Frequenzanalysen nach

Fourier durch. Sie konnten zeigen, daß sich die Hautrauhigkeit mit dem Winkel der Tastschnitte zu den Hautfalten verändert. Diese Erkenntnis stützt eigene Überlegungen, nach denen eine Unterscheidung von Quer- und Längsläufen vorgenommen wird.

Makki, Barbenel und Agache (11) untersuchten verschiedene Faktoren, die die Oberflächenprofile beeinflussen.

Sie demonstrierten die Notwendigkeit mehrere Tastschnitte über eine Hautreplik zu legen, wenn verlässliche Werte für die Rauheitsparameter angegeben werden sollten.

An vierzehn Probanden wurden Unterarm- und Bauchregion untersucht, wobei fünf oder mehr Tastschnitte auf jeder Hautoberflächenreplik in den Richtungen 0 Grad und 90 Grad zur Körper- bzw. Extremitätenachse, gefahren wurden.

Die Autoren fanden für den arithmetischen Mittenrauhwert R_a einen statistisch signifikanten Unterschied beim Vergleich beider Hautareale, wobei die arithmetischen Mittenrauhwerte der Abdominalregion niedriger lagen, als die der Unterarmregion.

Cook und Mitarbeiter (2) verwendeten als Abdruckmaterial Silflo, von dem Positive aus einem Epoxidharz (Embed 812) hergestellt wurden.

Zur Auswertung kamen der arithmetische Mittenrauhwert R_a , die Glättungstiefe R_p , die maximale Rauhtiefe R_t , und die gemittelte Rauhtiefe R_z .

Zusätzlich führte er die Spitzenzahl R_n und die mittlere Spitzenhöhe R_m ein, wobei ganz bestimmte Kriterien innerhalb des Profils erfüllt sein mußten, damit ein bestimmter Profilabschnitt als Spitze erkannt wurde.

Innerhalb eines Probandenpools von zehn Frauen im Alter zwischen 24 und 38 Jahren, untersuchte Cook die Außenseiten der Unterschenkel.

Meßtechnisch schlug Cook ebenfalls eine Differenzierung in Quer- und Längsläufe vor. Dabei konnte ein statistisch signifikanter Unterschied der Rauheitswerte zwischen beiden Laufrichtungen festgestellt werden.

Nach Hydratationsversuchen fand Cook für die vermessenen Hautareale eine Zunahme der Spitzenzahl R_n in der Laufrichtung parallel zu den großen Hautfalten. Die gemittelte Glättungstiefe R_p

scheint bezüglich der Tastrichtung quer zu den großen Hautfalten auf Grund der Hydratation abzunehmen.

Zur Beschreibung der Hautoberflächenmorphologie stellt Hoppe (5) Hautabdrücke mit der dentalen Abdruckmasse Silasoft her. Die Profilometrie führt er direkt am Abdruck durch und schließt eine elektronische Profilumkehr der vom Abdruck erhaltenen Tastschnitte an.

Das Vorgehen wird mit dem zusätzlichen Fehler begründet, der bei der Herstellung des Positives vom Silasoft - Abdruck entstünde. Hoppe zieht zur Auswertung seiner Hautabdrücke die Rauheitsparameter R_a , R_t , R_z , R_p und R_{max} heran.

Diese werden aus einer Serie von Tastschnitten ermittelt, deren Länge 20 mm beträgt und die radiär von einem Mittelpunkt aus mit Winkelabständen von 30° angelegt sind. Bei diesem Vorgehen ergeben sich pro Abdruck zwölf Tastschnitte, wobei die erste Tastrichtung zufallsbedingt irgendeinen Winkel zur Körperachse annehmen kann.

Die ermittelten digitalisierten Meßdaten werden nach Meßrichtungen und Oberflächenparametern sortiert und getrennt abgespeichert.

Anschließend erfolgen statistische Untersuchungen der Meßwerte auf Normalverteilung und/oder logarithmische Normalverteilung, Signifikanzvergleiche der vorgelegten Verteilungsfunktionen und eine Varianzanalyse.

Danach werden nicht signifikant unterschiedliche Verteilungsfunktionen zusammengefaßt und mathematisch-statistisch ausgewertet.

Hoppe weist darauf hin, daß zur Beschreibung einer behandelten, beziehungsweise unbehandelten Situation drei verschiedene Abdrücke notwendig seien, die seiner Empfehlung nach jeweils im 48 - Stunden - Rhythmus gewonnen werden sollten.

Das Verfahren ist geeignet, die Wirkung von Externa auf die Hautoberflächenstruktur zu dokumentieren.

Werden außerdem während der Testdauer, die sich meist über mehrere Tage erstreckte, Hautabdrücke entnommen, so lassen sich mit dieser Methode auch Kinetiken aufstellen.

Mit Hilfe solcher Untersuchungen wurden bereits Wirkungsoptimierungen von O/W Präparaten durchgeführt und dokumentiert.

Des weiteren wurde für 142 Probanden zwischen 1 und 79 Jahren eine Altersentwicklung bezüglich der Ventralseiten des Unterarmes angegeben, wonach sich die Rauheitsparameter R_z , R_a , R_t und R_{max} mit zunehmendem Alter nach einer e - Funktion verändern.

Hoppe weist darauf hin, daß die Altersverteilung des Probandenkollektives auf die Form ihrer Häufigkeitsfunktion geprüft werden muß. Auswertungen an einem Probandenkollektiv können erst dann erfolgen, wenn hinsichtlich der Altersstruktur eine Gaußsche Normalverteilung vorliegt.

In einer weiteren Veröffentlichung modifiziert Hoppe (6) sein Verfahren dahingehend, daß nur noch sechs sektorale Tastschnitte auf Hautabdrücken der aus Xanthopren der Unterarminnenseiten durchgeführt werden, wobei das zu untersuchende Hautareal zur genauen Lagerekonstruktion des Abdruckes mit Nagellack markiert wird.

Mit diesem Verfahren stellt Hoppe das Vorhandensein einer Vorzugsrichtung bei " $\varphi = 180^\circ$ ", also längs zur Körperachse, fest. Die Unterschiede der Rauigkeit zwischen den Raumrichtungen " $\varphi = 180^\circ$ und $\varphi = 90^\circ$ " bezeichnet Hoppe als Anisotropie der Haut.

Mit einem umfangreichen, computergestützten Auswertverfahren weist Hoppe außerdem nach, daß Hautprofile aus periodischen und stochastischen Anteilen bestehen.

Hinsichtlich des Rechneinsatzes noch aufwendigere Frequenzanalysen nach Fourier an unbehandelten und mit einer W/O - Hautcreme (Nivea) behandelten Innenseiten der Unterarme ergaben, daß sich in charakteristischen Frequenzbereichen die Amplitudenwerte bei behandelter Haut verkleinern, was einem Glättungsvorgang durch die Behandlung entspricht.

4.5. Kritische Anmerkungen zur Methodik

Hoppes Vorgehen, sich bei der Wahl der Laufrichtung nicht an den makroskopisch sichtbaren Hautlinien zu orientieren (5), sondern Tastschnitte radiär von einem Mittelpunkt ausgehend in Winkelabständen von 30 Grad anzulegen, dürfte ein sehr wirksames Verfahren darstellen, um einen Mittelwert der Rauigkeit einer Hautreplik als "Gesamteindruck" zu erhalten. Wie eigene Untersuchungen

jedoch zeigen, gehen dadurch gewisse Informationen, die in der Unterscheidung von Quer - und Längsläufen verborgen liegen, verloren (siehe 3.4.).

Der Vorschlag der Autoren Cook (2), Hoppe (6) u. Makki (11) eine Differenzierung in Tastschnitte quer und parallel zu den größeren Hautfalten durchzuführen, bestätigt das eigene Verfahren. Die Untersuchungsergebnisse von Barbenel und Mitarb. (1) und Hoppe (6), die an Hand von Frequenzanalysen nach Fourier zeigen konnten, daß sich die Rauigkeit der Hautoberfläche mit dem Winkel der Tastschnitte zu den Hautfalten verändern, beweisen die Notwendigkeit eine solche Unterscheidung zu treffen.

Allerdings stellen drei Tastschnitte pro Laufrichtung, so wie Cook (2) sie durchführte, eine zu geringe Zahl dar. Dies zeigen auch die Untersuchungen von Makki (11). Um hinreichend genaue Mittelwerte der Rauheitsparameter zu erhalten, sind mindestens fünf Tastschnitte pro Laufrichtung notwendig.

Diese Tastschnittserien können, wie eigene Voruntersuchungen ergaben, sinnvollerweise nur an Hautreplikapositiven aus Epon oder ähnlich hartem Material durchgeführt werden.

Bei Verwendung von Negativabdrücken aus Xanthopren muß deren starke elastische Verformbarkeit einkalkuliert werden.

Beim Abtasten mit halbstarren Tastschnittsystemen ist mit Verformungen zu rechnen, die nicht durch die geringe Auflagekraft der Diamantnadel, sondern vielmehr durch die ungleich viel höhere Auflagekraft des auf der Gleitkufe laufenden gesamten Tastkopfes entstehen.

Die Größe dieses Fehlers gegenüber dem eines Epon - Positives mit äußerst geringer elastischer Verformbarkeit, bedarf einer genauen Untersuchung, um die nach den beiden unterschiedlichen Methoden gewonnenen Meßergebnisse objektiv miteinander vergleichen zu können.

Kadner (8) hat mit seinen Untersuchungen an Teststücken aus Stahl nachgewiesen, daß der Übertragungsfehler, der bei der Herstellung von Negativ - Positiv - Abdrücken entsteht, vernachlässigbar gering ist (ca 9%). Da inzwischen erheblich verfeinerte Materialien zur Verfügung stehen, dürfte dieser Fehler heute nochmals um einige Prozentpunkte zu senken sein.

Makki und Mitarbeiter (11) haben vom Positiv eines Hautabdruckes einen Zweitabdruck hergestellt und davon ein weiteres Posi-

tiv. Beide Positive wurden mit bis zu 17 Tastschnitten bei variierenden Winkeln zu den großen Hautfalten vermessen. Es ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede der Ra- und Rp-Werte. Des weiteren waren auch keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der beiden o.a. Rauheitsparameter nachweisbar, wenn mehrere vom selben Hautareal einer Person hergestellte Hautabdrücke untersucht wurden.

Beide Befunde zeigen, daß das Verfahren der Herstellung von Repliken der Hautoberfläche als absolut verläßlich für profilometrische Untersuchungen anzusehen ist.

Ein wesentlicher Nachteil der Profilometrie besteht ganz allgemein darin, daß durch das Abtasten von Oberflächen mit gleitkufengeführten Tastsystemen eine mechanische Filterung des Profils erfolgt. Außerdem werden speziell bei der Vermessung von Hautoberflächen, die im allgemeinen recht tiefen und stark V-förmigen Furchen, bedingt durch die Form des Tasters, ganz beträchtlich in ihrer Vertikaldimension verzerrt.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß nur einzelne Tastschnitte erfaßbar sind und damit prinzipiell eine Reduktion des Informationsgehaltes dreidimensionaler Strukturen auf zweidimensionale Profilschnitte erfolgt.

Maschinenbauer haben bei der Beschreibung von Verschleißvorgängen an Zahnrädern ähnliche Problemstellungen. An der RWTH Aachen haben deshalb Wissenschaftler (22) das Verfahren zur Darstellung realer Oberflächen mit Hilfe der Stereo - Photogrammetrie für die Untersuchungen an metallischen Oberflächen anwendbar gemacht. Mit diesem Verfahren sollte theoretisch auch eine Darstellung von Hautoberflächenrepliken unter Umgehung der oben geschilderten Nachteile möglich sein.

4.6. Kritische Bemerkungen zur mathematisch-physikalischen Erfassung der Hautrauhigkeit

Die Ermittlung der Rauigkeiten von Oberflächen stellt allgemein ein besonderes Problem dar:

Der Begriff "Rauigkeit" läßt sich technisch nicht mit einem einzigen Wert beschreiben, er umfaßt vielmehr eine ganze Anzahl von

Parametern und läßt sich allenfalls mit dem Auge subjektiv als Ganzes erfassen, aber auch hier nur, wenn konkret Oberflächen miteinander verglichen werden, deren Oberflächencharakteristika einander stark ähneln.

Um die "Rauhigkeit" einer Oberfläche genau beschreiben zu können, muß diese daher auf mindestens 3 Profilcharakteristika hin untersucht werden:

- 1.) Abweichungen in der Vertikalen
(= Rauheitsparameter: R_t , R_p , R_z , u.s.w.)
- 2.) Abweichungen in der Horizontalen
(= mittlerer Rillenabstand / Periodizitäten)
- 3.) Formfaktor: Form der zwischen den Rillen befindlichen "Berge".

Auch das Auge kann alle diese Parameter nicht genau erfassen, da das Auflösungsvermögen und das Verarbeitungsvermögen hierzu nicht ausreichen.

Mit dem Verfahren der Profilometrie nach dem Tastschnittprinzip mit Hilfe des Perthometers S 5 P kann nur Punkt 1 vollständig untersucht werden. Punkt 2 ist nur teilweise und Punkt 3 allenfalls ansatzweise zu dokumentieren.

Diese Problematik sollte man bei der Auswertung von Hautoberflächen mit Hilfe der Profilometrie ständig im Auge behalten. Dennoch erscheint die Untersuchung der Haut nur auf ihre Vertikaldimension hin, bezüglich der Altersentwicklung und Geschlechtsunterschiede in bestimmten Altersgruppen interessant.

Verwendet man aber zur Charakterisierung eines Hautareals nur einen der vorgestellten Rauheitsparameter, beispielsweise den geometrischen Mittenrauhwert R_s , so darf dabei folgende Problematik nicht außer Acht gelassen werden:

Definitionsgemäß stellt R_s den geometrischen Mittelwert aller Abstände des Rauheitsprofils R von dessen Mittellinie dar, also die Standardabweichung des Profils von der Mittellinie.

Es können allerdings zwei Sinuskurven mit unterschiedlicher Wellenlänge aber gleicher Amplitude den selben geometrischen Mittenrauhwert R_s liefern.

Alle Sinuswellen gleicher Amplitude liefern also den selben geo-

metrischen Mittenrauhwert R_s unabhängig von ihrer Frequenz, bzw. Wellenlänge (siehe Abb. 17).

Konkret bedeutet dies für die Messungen an der Haut:

R_s als alleinige Angabe für den Vergleich zweier Hautpräparate bezüglich der Abweichungen in der Vertikalen kann nur als Orientierungswert angesehen werden.

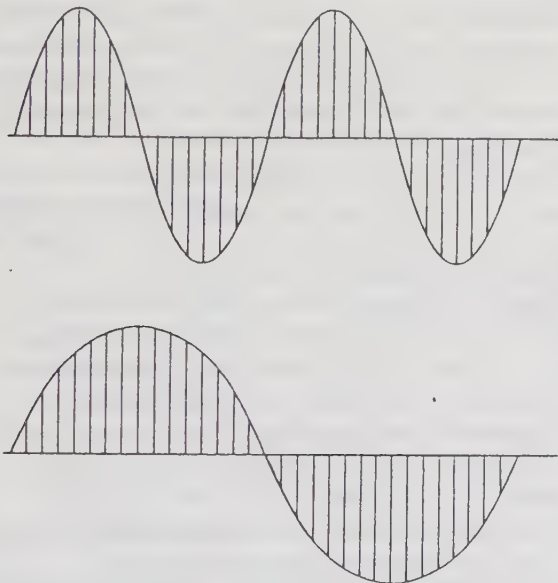


Abb. 17 Beide Sinuskurven liefern den gleichen geometrischen Mittenrauhwert

Ähnliches gilt für alle übrigen Rauheitsparameter:

Die maximale Rauhtiefe R_t kann beispielsweise für zwei unterschiedliche Hautareale sehr ähnlich sein, während deren Gesamtrauhigkeiten auf Grund eines unterschiedlichen Profilverlaufes weit auseinander liegen.

Es ist daher erforderlich immer eine Kombination wenigstens zweier Werte in Histogrammen (z.B. R_t/S_1) anzugeben, um eine genaue Charakterisierung eines Hautareals und einen direkten Vergleich

mehrerer Hautareale untereinander sinnvoll vornehmen zu können. Die Kombination eines Rauheitsparameters mit einer Spitzenzahl wird deshalb vorgeschlagen, weil damit eine dreidimensionale Struktur immerhin schon in zwei Raumachsen und nicht nur in der Vertikaldimension beschrieben wird.

Diese Darstellungsweise dient zur alleinigen Betrachtung von Quer- oder Längsläufen und kann daher nicht den Anspruch erheben, die Gesamtrauhigkeit eines Präparates zu beschreiben.

Die Kombination aus Rt/SI eines Quer- oder eines Längslaufes kann also nur zur groben Charakterisierung eines Präparates dienen. Das Verfahren bildet die Grundlage für den Altersvergleich homologer Hautareale (s. 3.4.1.).

Die Kombination Rt/SI wurde deshalb so gewählt, weil beim Altersvergleich die Entwicklung der größten Niveauunterschiede - also der Hautfurchung - interessiert, und diese nur durch die maximale Rauhtiefe Rt hinreichend erfaßt wird.

Die zusätzliche Angabe der Spitzenzahl SI erfolgt mit der Absicht, wie oben schon begründet, das Präparat genauer charakterisieren zu können und gleichzeitig mit der Veränderung der Vertikaldimensionen eine Aussage über die altersbedingten Änderungen der Furchenzahl pro Längeneinheit eine Aussage zu ermöglichen. Diese Aussagen sind nur gesondert für Quer- und Längsläufe möglich.

Inwieweit die Strukturierung altersabhängigen Änderungen unterliegt, bleibt weiteren Messungen vorbehalten.

Denkbar wären Rauheitsmaxima sowohl bei den Erwachsenen, als auch bei alten Menschen, wobei die Entwicklung der Strukturierung altersabhängig, je nach Hautareal, verschieden ablaufen könnte.

Die vorgestellten Ergebnisse können nur Tendenzen einer Altersentwicklung darstellen, denn beim Vergleich homologer Hautareale gleichaltriger Probanden zeigt sich bezüglich der Rauheitsparameter eine erhebliche Schwankungsbreite. Diese Varianz läßt sich auf die Abhängigkeit der Hautmorphologie von genetischen Einflüssen und Umwelteinflüssen zurückführen und stellt somit einen ganz wesentlichen Faktor für das Erscheinungsbild der Oberflächenstrukturen von Hautarealen dar.

Wegen der für eine solche Untersuchung zu geringen Zahl der zur Verfügung stehenden Probanden muß deshalb die Einschränkung gemacht werden, daß die genetische Varianz eine Altersentwicklung

teilweise überdeckt.

Auf Grund der Diskussion um die alleinige Betrachtung von Quersläufen soll hier zur besseren Erfassung der Gesamtrauhigkeit eines Hautareals, eine Kombination von Rauheitsparametern beider Laufrichtungen vorgeschlagen werden. Als einfachste Möglichkeit dient hierzu die Angabe von R_s (quer) + R_s (längs). Man erhält einen groben Anhaltspunkt für die Gesamtrauhigkeit eines Hautareals.

Die Angaben von Summen anderer Rauheitsparameter (z.B. R_t , Spitzen- und Tiefenzahlen) erscheint dagegen nicht sinnvoll, da diese im Gegensatz zu R_s nicht integrierte Einzelwerte darstellen, und deren Addition lediglich eine Verschleierung von Informationsgehalt bedeuten würde.

Begründung: Obwohl die maximalen Rauhtiefen R_t der Quer- und Längsläufe verschiedener Hautareale unterschiedliche Werte aufweisen können, können deren Summen den gleichen Wert haben.

Zahlenbeispiel:

- 1.) R_t (quer) = 2; R_t (längs) = 1; = R_t = 3;
- 2.) R_t (quer) = 1; R_t (längs) = 2; = R_t = 3;

Mit Hilfe der Summe der geometrischen Mittenrauhwerte R_s aus Quer- und Längsläufen wird eine Untersuchung von Geschlechtsunterschieden sinnvoll, da nun die Gesamtrauhigkeit eines Hautareals mit den Rauheitswerten beider Laufrichtungen erfaßt wird.

All diese Darstellungs- und Beschreibungsverfahren können die Hautoberfläche nur sehr grob erfassen und lassen eine genauere Beschreibung des betreffenden Hautareals im Sinne der Eingangs dieses Abschnittes (s.S. 51 ff.) geführten Diskussion nicht zu. Die auf den folgenden Seiten dargestellte Methode soll hier einen neuen Lösungsvorschlag anbieten.

3.3.6. Graphisches Verfahren zur genaueren Charakterisierung eines Hautareals mit Hilfe der Profilometrie

Im folgenden soll ein graphisches Verfahren zur genauen Differenzierung der Oberflächenmorphologie der Haut mit den zur Verfügung stehenden Meßparametern dargestellt werden, das zusätzlich die Möglichkeit der Objektivierung eines subjektiven visuellen Eindruckes von einer Hautoberfläche bietet.

Mit dieser speziellen Darstellungsmethode lassen sich alle Charakteristika einer Hautprobe eines Probanden mit zwei Diagrammen erfassen. Es besteht damit die Möglichkeit, die "Rauhigkeit" eines Hautareals bezüglich der unter 4.6. angeführten drei Profilcharakteristika, d.h. der

- Vertikalabweichungen
- Abweichungen in der Horizontalen und in beschränktem Umfang auch des
- Formfaktors

in einer graphischen Darstellung zusammenzufassen.

Dazu ist folgendes Vorgehen erforderlich:

- 1.) Aufzeichnen der Bezugslinie (= Profilmittellinie).
- 2.) Auftragen einer Parallelen dazu im Abstand der Glättungstiefe R_p (= obere Begrenzungslinie).
- 3.) Aufzeichnen einer Parallelen zur R_p - Linie im Abstand der maximalen Rauhtiefe R_t (= untere Begrenzungslinie).

Mit diesen drei Geraden sind Bezugslinie und obere und untere Begrenzungslinie des Profils in das richtige Verhältnis zueinander gesetzt.

- 4.) Weiterhin werden die beiden am Gerät eingestellten Schnittlinien (hier also z.B. mit dem Abstand $10\text{ }\mu\text{m}$ zur Mittellinie) eingetragen.
- 5.) Für die Werte von $S_2 / S_1 / T_2 / T_1$ können vier Balken eingezeichnet werden, deren Breite dem Zahlenwert der eben genannten Größen entsprechen soll. Dabei werden diese Balken gemäß der Definition von $S_2 / S_1 / T_2 / T_1$ aufgezeichnet, d.h. konkret:

- a.) für S2 : Der Balken reicht von der unteren Schnittlinie bis zur oberen Begrenzungslinie.
- b.) für S1 : Der Balken reicht von der oberen Schnittlinie bis zur oberen Begrenzungslinie.
- c.) für T2/T1: Die Balken reichen von der oberen Schnittlinie bis zur unteren Begrenzungslinie.

Wie aus dem in Abbildung 18 dargestellten Schema ersichtlich wird, ergeben sich außerdem zwei weitere Balken:

- d.) für S2-S1: Da S2 sowohl Profilmerkmale zählt, die die eingestellte obere Schnittlinie überschreiten, als auch solche, die sich innerhalb der beiden Schnittlinien bewegen, muß zwangsweise die Differenz aus S2 und S1 all diejenigen Profilmerkmale beschreiben, die die eingestellte untere Schnittlinie überschreiten und wieder unterschreiten, dazwischen jedoch die eingestellte obere Schnittlinie nicht überschreiten.
- e.) für T2-T1: für diese Profilmerkmale gilt Entsprechendes.

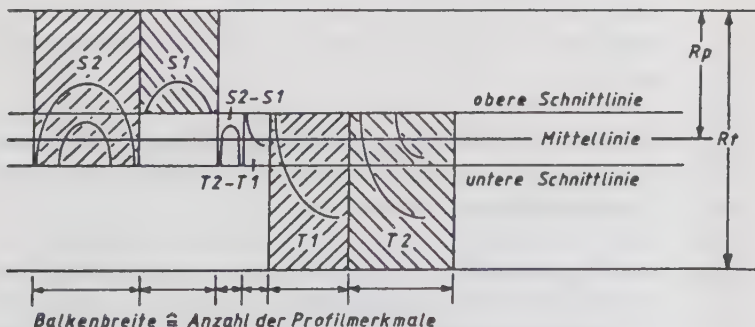


Abb. 18 Graphische Darstellung zur genaueren Erfassung der Hautrauigkeit
Die eingezeichneten Bögen entsprechen Kurvenverläufen gemäß der Definitionen der Spitzen- und Tiefenzahlen

Dieses Diagramm wird für Querlauf und Längslauf getrennt angelegt. Zusätzlich kann dazu noch der Wert R_s (quer) + R_s (längs) angegeben werden. Diese Darstellungsweise ergibt für ein ganz bestimmtes Hautareal ein charakteristisches Diagramm und ermöglicht selbst in den Fällen, in denen das Auge des Betrachters subjektiv zwischen zwei sehr ähnlichen Präparaten keinen Unterschied zu erkennen vermag, noch deutliche Profilabweichungen festzustellen.

Anhand dieses Diagramms kann ein Präparat der Haut bezüglich seiner Oberflächenmerkmale beschrieben werden. Es vermag Aufschluß zu geben über:

1.) Vorzugsrichtung / Homogenität:

Ein Präparat wird um so homogener erscheinen, je ähnlicher die Einzeldiagramme für Längs- und Querlauf sind. Umgekehrt wird eine Vorzugsrichtung um so stärker ausgeprägt sein, je stärker R_t , R_s und die Spitzen- und Tiefenzahlen (also die Balkenbreiten) differieren.

2.) Glätte / Rauheit in der Vertikalen:

sind durch die Rauheitsparameter R_t , R_p und R_s gekennzeichnet.

Dabei kommt dem Verhältnis $R_p : (R_t - R_p)$ eine besondere Bedeutung zu:

- a) für $R_p : (R_t - R_p) = 1$ kann ein Hautprofil angenommen werden, bei dem die Profilanteile oberhalb und unterhalb der Mittellinie ausgewogen sind.
- b) für $R_p : (R_t - R_p) < 1$ muß dagegen eine Oberfläche, mit im Verhältnis zur Tiefe der Täler um so längeren und flacheren "Plateaus" angenommen werden, je weiter oben genanntes Verhältnis gegen 0 geht.

Die beiden folgenden Profilbeispiele sollen dies verdeutlichen:

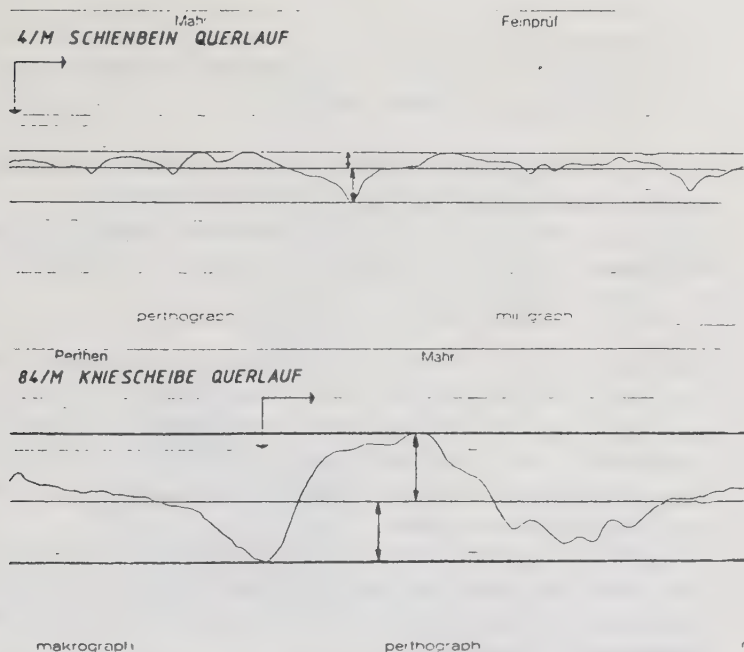


Abb. 19 Darstellung von Profilverläufen mit unterschiedlichem Verhältnis der Profilanteile oberhalb und unterhalb der Mittellinie.

3.) Strukturierung:

Diese setzt sich aus der Faltendichte, d.h. der Anzahl der Profilvermerkmale $S_2 / S_1 / T_2 / T_1$ pro Meßstrecke l_m und der maximalen Rauhtiefe, bzw. dem geometrischen Mittenrauhwert zusammen. Je geringer R_t und R_s bei gleichzeitig hohen Spitzen- und Tiefenzahlen, also großen Balkenbreiten sind, desto feiner strukturiert ist das betrachtete Präparat.

Dasjenige Hautfeld ist das Rauheste, das bei den größten Balkenbreiten gleichzeitig auch die höchsten Niveauunterschiede aufweist.

Das Umgekehrte gilt für das glatteste Hautfeld.

4.) Gesamtniveauunterschied:

Er entspricht, wie mehrfach beschrieben, dem Abstand R_t der oberen und unteren Begrenzungslinie.

Das oben beschriebene Verfahren ist relativ einfach anzuwenden, da es mit nur zwei Spitzen- bzw. Tiefenzahlen arbeitet.

Abb. 20 und Abb. 21 zeigen Auswertungsbeispiele zweier homologer Hautareale (Kniescheibe) eines 4 - jährigen Knaben und eines 25 - jährigen Mannes.

Die Kniescheibe des 25 - jährigen Mannes stellt ein Hautareal mit sehr deutlicher Vorzugsrichtung dar. In Richtung des Querlaufes existieren nur sehr wenige, sehr hohe Hautrippen, während in Längsrichtung sehr viele äußerst niedrige Strukturen existieren, die dem Betrachter wegen ihrer geringen Niveauunterschiede praktisch nicht auffallen können.

Es handelt sich um ein äußerst rauhes Hautareal mit starken Profilschwankungen, wobei die Verteilung der oberhalb und unterhalb der Profilmittellinie befindlichen Kurvenzüge bezüglich des Querlaufes nahezu identisch ist.

Die Strukturierung ist auf Grund der geringen Faltendichte bezüglich des Querlaufes äußerst grob, wohingegen sie bezüglich des Längslaufes praktisch nicht mehr wahrnehmbar ist.

Dagegen zeigt die Kniescheibe des 4 - jährigen Knaben eine wesentlich weniger deutliche Vorzugsrichtung.

Insgesamt existieren in Querlaufrichtung mehr Hautrippen, die Strukturierung ist also feiner als im Falle des 25 - jährigen Mannes anzunehmen.

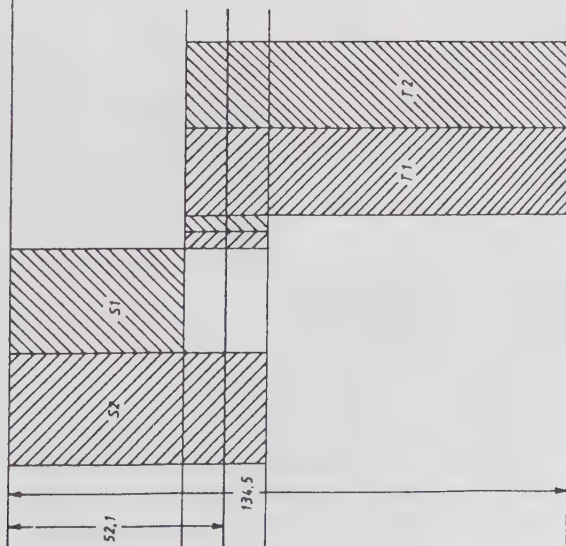
In Längsrichtung ist die Strukturierung wesentlich deutlicher als im ersten Fall, da die Faltendichte niedriger ist und der Gesamtniveauunterschied um ca. 25 μm höher liegt.

Die Verteilung der Profilanteile oberhalb und unterhalb der Profilmittellinie ist zugunsten der Profilanteile unterhalb der Profilmittellinie verschoben.

Dadurch besitzt die Kniescheibenoberfläche des 4 - jährigen Knaben einen ganz anderen Charakter als die des 25 - Jährigen.

$$R_{S_1} + R_{S_2} = 46.3$$

QUERLAUF



LÄNGSLAUF

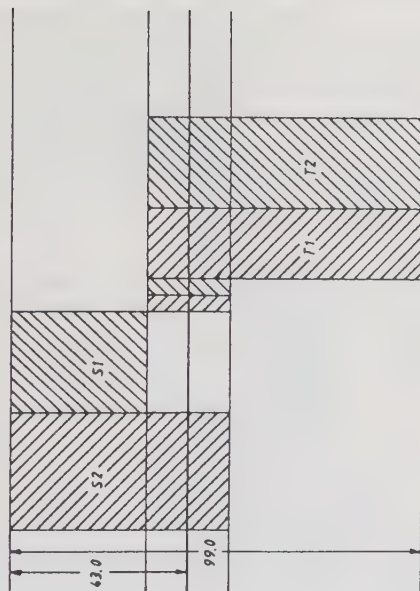


Abb. 20 4 - jähriger Knabe / Kniescheibe

$$R_{S_Q} = R_{S_I} = 51.0$$

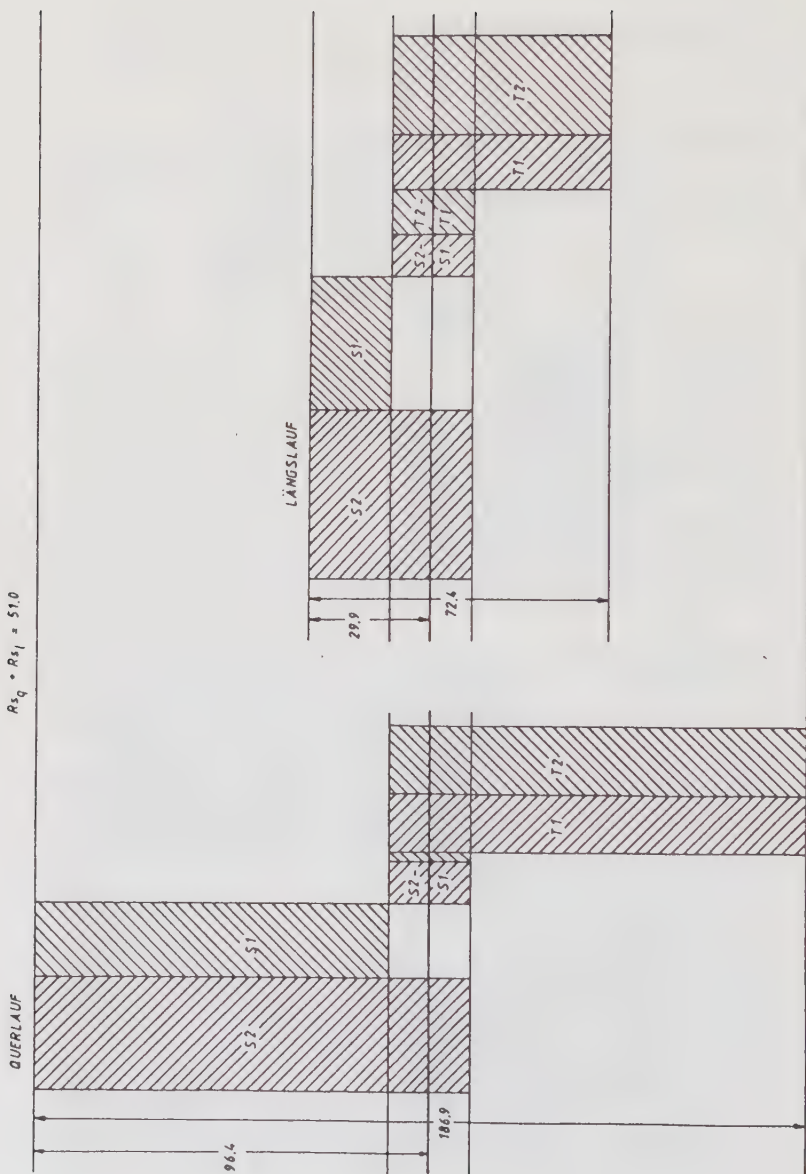


Abb. 21 25 - jähriger Mann / Kniescheibe

Die Aussagekraft des Verfahrens kann durch zusätzliche Maßnahmen, falls erforderlich, gesteigert werden:

Legt man mit Hilfe des Schnittlinienschalters weitere Schnittlinien durch das Profil, so können weitere Profilmerkmale $S_2 / S_1 / T_2 / T_1$, die den neu eingeführten Schnittlinien entsprechen, in das Diagramm aufgenommen werden.

Besonders hinsichtlich Punkt 3.) "Strukturierung" läßt sich damit eine genauere Differenzierung eines individuellen Hautabschnittes vornehmen.

Allerdings bedeutet das Verfahren einen Mehraufwand, da jeder einzelne der fünf Tastschnitte einer Laufrichtung entsprechend der Anzahl der zusätzlich verwendeten Schnittlinien mehrmals abgefahren werden muß.

Folgendes Schema soll das Prinzip des Verfahrens veranschaulichen:

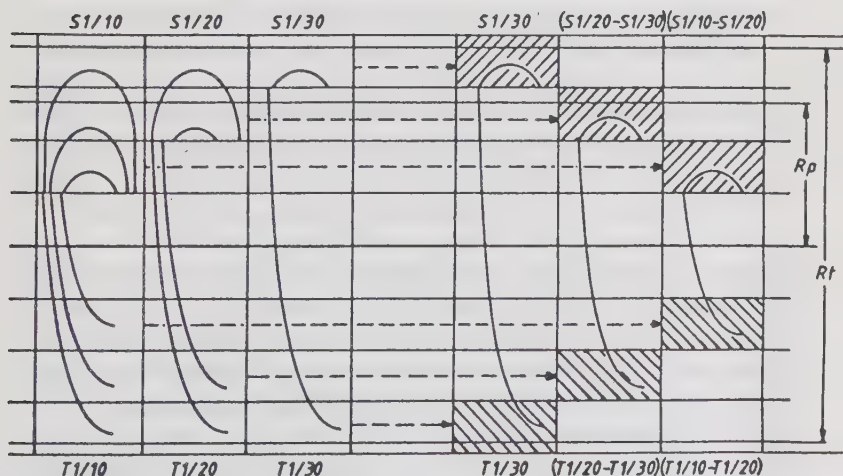


Abb. 22 Schematische Darstellung zum erweiterten Verfahren der genaueren Charakterisierung eines Hautareals
Die eingezeichneten Bögen entsprechen Kurvenverläufen gemäß der Definitionen der Spitzen- und Tiefenzahlen.

Dabei gehen wir von der Überlegung aus:

- daß die Spitzenzahl S_1 für die $10\ \mu\text{m}$ - Schnittlinie alle diejenigen Profilmerkmale umfaßt, die die $10\ \mu\text{m}$ - Linie überschreiten und alle weiteren Schnittlinien ebenso (also $20\ \mu\text{m}$, $30\ \mu\text{m}$ u.s.w.) und anschließend wieder die eingestellte $10\ \mu\text{m}$ - Schnittlinie unterschreiten - gekennzeichnet als $S_1/10$.
- daß die Spitzenzahl S_1 für die $20\ \mu\text{m}$ - Schnittlinie alle diejenigen Profilmerkmale umfaßt, die die eingestellte $20\ \mu\text{m}$ - Linie überschreiten und alle weiteren Schnittlinien ebenso (also $30\ \mu\text{m}$, $40\ \mu\text{m}$ u.s.w.) und anschließend wieder die eingestellte $20\ \mu\text{m}$ - Schnittlinie unterschreiten - gekennzeichnet als $S_1/20$.

Dies gilt für alle weiteren Schnittlinien ebenso.

Es brauchen nun nur noch die Spitzenzahlen S_1 für zwei aufeinanderfolgende Schnittlinien voneinander subtrahiert zu werden. Die Differenzen ergeben genau diejenigen Profilmerkmale, die sich zwischen zwei Schnittlinien bewegen, also z.B. für $S_1/10 - S_1/20 =$ diejenigen Profilmerkmale, die die $10\ \mu\text{m}$ - Schnittlinie überschreiten und wieder unterschreiten, dazwischen aber die $20\ \mu\text{m}$ - Schnittlinie nicht überschreiten.

Nach dem selben Grundgedanken lassen sich die entsprechenden Profilmerkmale für die Tiefenzahlen T_1 angeben.

Für den Raum zwischen den beiden $10\ \mu\text{m}$ - Schnittlinien wird auf diejenigen Profilmerkmale zurückgegriffen, die sich aus $S_2/10 - S_1/10$ ergeben.

Zur Auswertung eines Hautpräparates nach diesem Verfahren bedient man sich folgenden Vorgehens:

- 1.) Protokollieren der Spitzen - und Tiefenzahlen am Tastschnittgerät.
- 2.) Tabellarische Auflistung und Berechnung von $\bar{x}$ für S_2 , S_1 und T_1 .
- 3.) Auswertungsdiagramm.

In das Diagramm werden übernommen:

- 1.) Profilmittellinie
- 2.) Schnittlinien $10\ \mu\text{m}$, $20\ \mu\text{m}$, $30\ \mu\text{m}$ u.s.w. als Parallelen zur Profilmittellinie in maßstäblichen Abstand.
- 3.) Linie der Glättungstiefe als Parallele zur Profilmittellinie im Abstand R_p als obere Begrenzungslinie des Profils.
- 4.) Als untere Begrenzungslinie des Profils eine Parallele zur Profilmittellinie im Abstand R_t zur oberen Begrenzungslinie.
- 5.) Die Spitzenzahlen ($S_1/10 - S_1/20$)
($S_1/20 - S_1/30$), ...
($S_1/n-10 - S_1/n$),
 S_1/n ,

wobei n die Zahl der Schnittlinien mit ihrer Bezeichnung in μm ist.

Die Breite der Balken, die immer zwischen den entsprechenden Schnittlinien eingezeichnet werden, entspricht wieder der Anzahl der Profilmerkmale.

- 6.) Für den Mittelbereich zwischen den beiden $10\ \mu\text{m}$ - Linien die Anzahl der Profilmerkmale $S_2/10 - S_1/10$ nach obigem Schema.
- 7.) Die Tiefenzahlen ($T_1/10 - T_1/20$), ($T_1/20 - T_1/30$) u.s.w. ebenfalls nach obigem Schema.

Das Diagramm wird wiederum getrennt für Längs- und Querlauf angegeben. Mit Hilfe des oben beschriebenen Verfahrens gelingt es, eine noch genauere Beschreibung der Rauigkeit eines individuellen Hautabdruckes vorzunehmen.

Die Beschreibung der Hautrauigkeit beschränkt sich nicht mehr auf die Vertikalparameter R_{max} , R_z , R_s , R_t und R_p und die Spitzen- und Tiefenzahlen S_2 , S_1 , T_2 und T_1 allein.

Es kann zusätzlich auf Grund der vorgenommenen Klassifizierung von Profilmerkmalen eine Aussage über die Verteilung von "Einzelrauigkeiten" innerhalb des Profils in Abhängigkeit von der Schnitttiefe gemacht werden.

Speziell für jede Hautoberfläche kann eine charakteristische Verteilung der Profilmerkmale S_1 und T_1 angegeben werden. Dazu werden die Zahlenwerte der einzelnen Profilmerkmale in ein Histo-

gramm übertragen (s. Abb. 26). Auf der Ordinate werden die Anzahl der Profilmerkmale eingetragen. Auf der Abszisse befinden sich die Profilmerkmale

S2/10 - S1/10, S1/10 - S1/20, S1/20 - S1/30 u.s.w.

Mit Hilfe dieser Histogramme läßt sich eine Aussage machen, ob und in welcher Schnittiefe in einem Profil bestimmte Profilcharakteristika der genannten Definitionen gehäuft auftreten. Es ergeben sich für jedes Profil charakteristische Verteilungen:

- 1.) Bezüglich der Anzahl der Balken = der Anzahl der verwendeten Schnittlinien; damit erhält man letztlich einen Hinweis auf den Gesamtniveauunterschied des Profils.
- 2.) Bezüglich der Verteilung der Profilmerkmale innerhalb des Profils.
- 3.) Bezüglich der Häufigkeit der Profilmerkmale.

Gleichzeitig kann mit dieser graphischen Darstellungsmethode eine noch genauere Objektivierung eines subjektiven Rauigkeitseindrucks vorgenommen werden:

Bei ähnlichen Rauigkeitsparametern zweier homologer Hautareale ist dasjenige das Rauhere, dessen Maximum in der Verteilung der Spitzen weiter rechts liegt, bzw., wenn die Maxima deckungsgleich liegen, das das höhere Maximum aufweist.

Aus diesem Histogramm sind also auf einen Blick die Verteilung bestimmter Profilmerkmale und die Lage ihrer Maxima ersichtlich. Es ist erkennbar, daß jedes Hautareal bezüglich seiner Quer- und Längsläufe ganz charakteristische Verteilungen aufweist, die sich an keinem anderen Hautareal so wiederholen. Damit ist die genaue Identifizierung einer individuellen Hautreplika möglich.

Veränderungen, die sich durch Alterungsprozesse an der Hautoberfläche ergeben, haben auch eine Veränderung des charakteristischen Verteilungsmusters des jeweiligen Hautareals zur Folge.

Die folgenden Abbildungen stellen Auswertungen von drei homologen Hautarealen (Handrücken) dar, deren zugehörige Hautabdrücke von einem 4-jährigen Knaben, einer 28-jährigen Frau und einer 69-jährigen Frau gewonnen wurden.

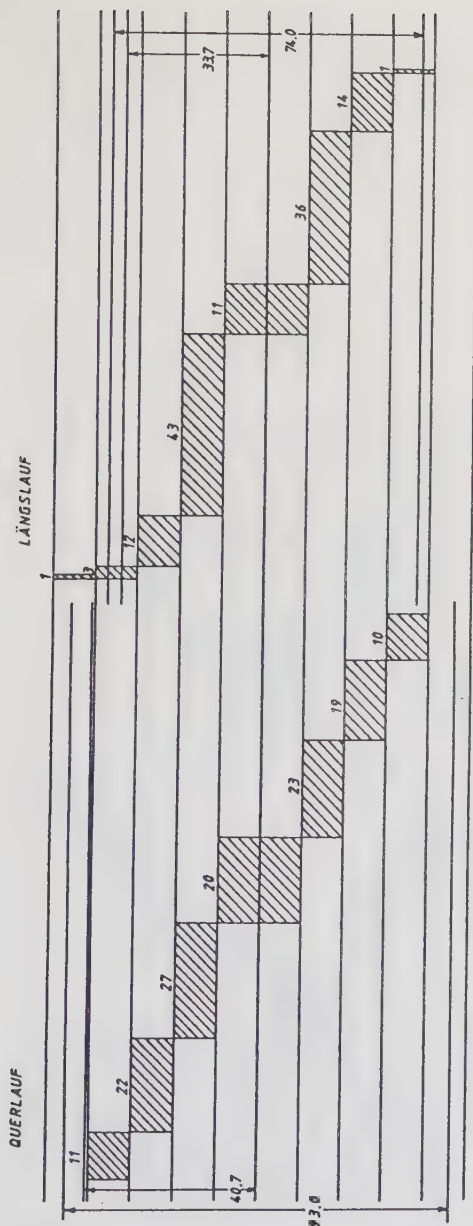


Abb. 23 4-jähriger Knabe / Handrücken / Quer-und Längslauf
graphische Darstellung siehe Beschreibung im Text

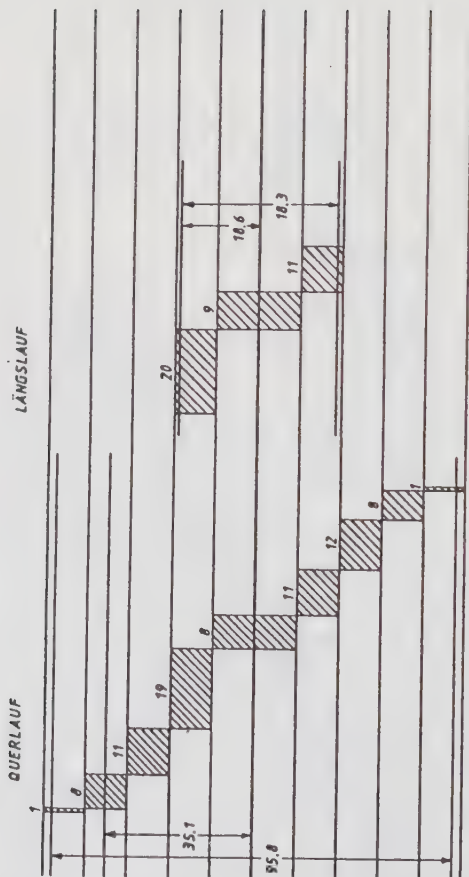


Abb. 24 28-jährige Frau / Handrücken / Quer- und Längslauf
graphische Darstellung siehe Beschreibung im Text

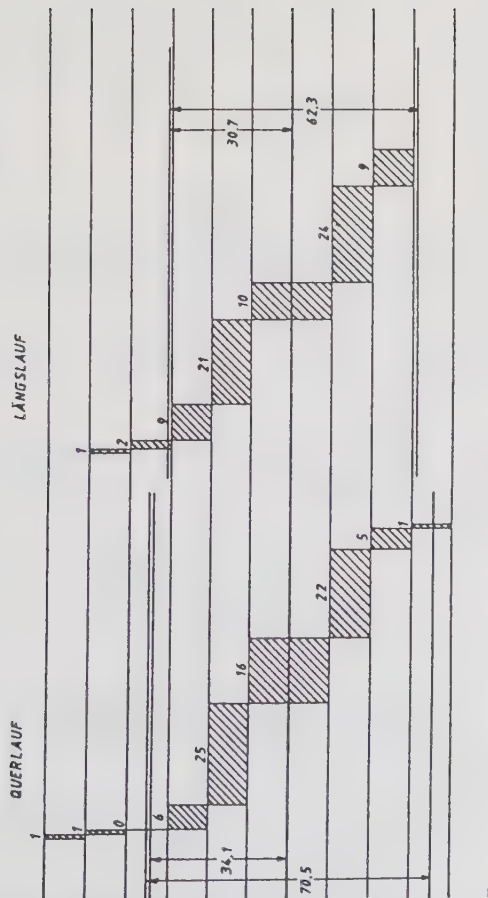


Abb. 25 69-jährige Frau / Handrücken / Quer- und Längslauf
graphische Darstellung siehe Beschreibung im Text

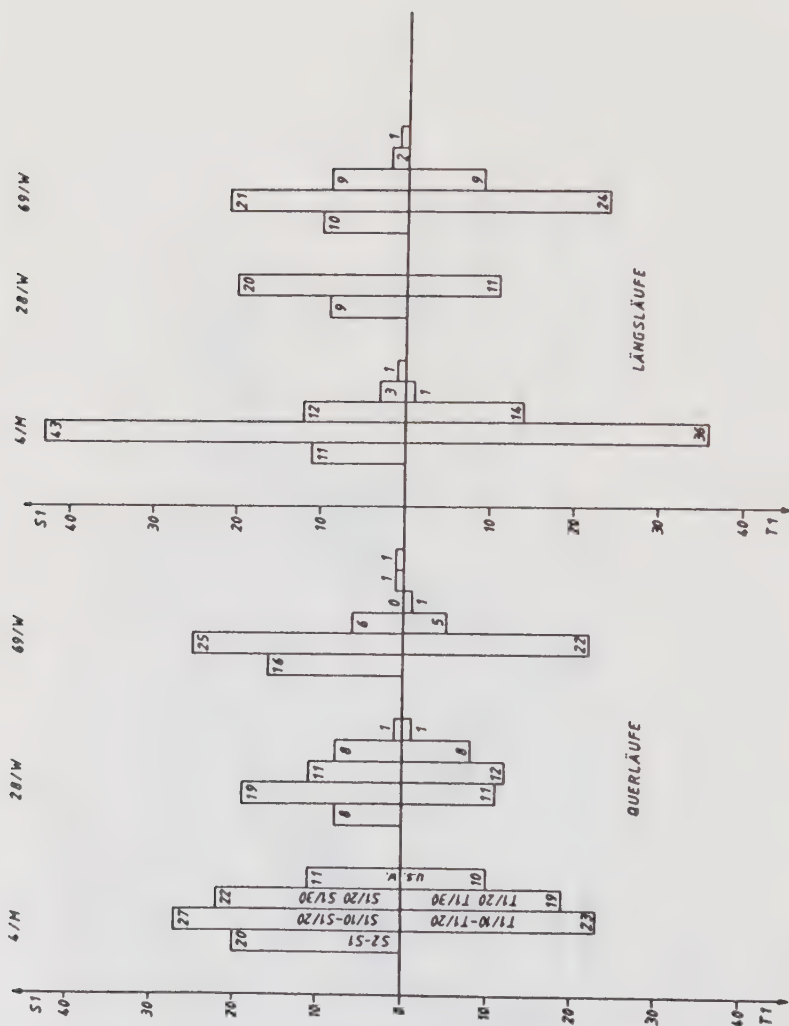


Abb. 26 Verteilungshistogramme der Profilcharakteristika der Handrücken eines 4-jährigen Knaben, einer 28-jährigen und einer 69-jährigen Frau.

Eine elegantere Lösungsmöglichkeit der selben Problemstellung wäre eine Auswertung mit Hilfe der sogenannten Traganteilkurve oder auch Abbott-Kurve.

Der dieser graphischen Darstellung zugrunde liegende Gedanke ist, gegen die auf der Abszisse stehenden Schnitttiefe auf der Ordinate den zu einer bestimmten Schnitttiefe gehörenden tragenden Anteil in Prozent, also das Verhältnis "Luft zu Haut", anzuführen.

Abbildung 27 zeigt den Spezialfall eines Profiles in Form einer Sinuskurve, bei der bei einer Schnitttiefe von 50% das Verhältnis des tragenden zum nichttragenden Anteil 1 : 1 ist, der prozentuale Traganteil also 50% beträgt.

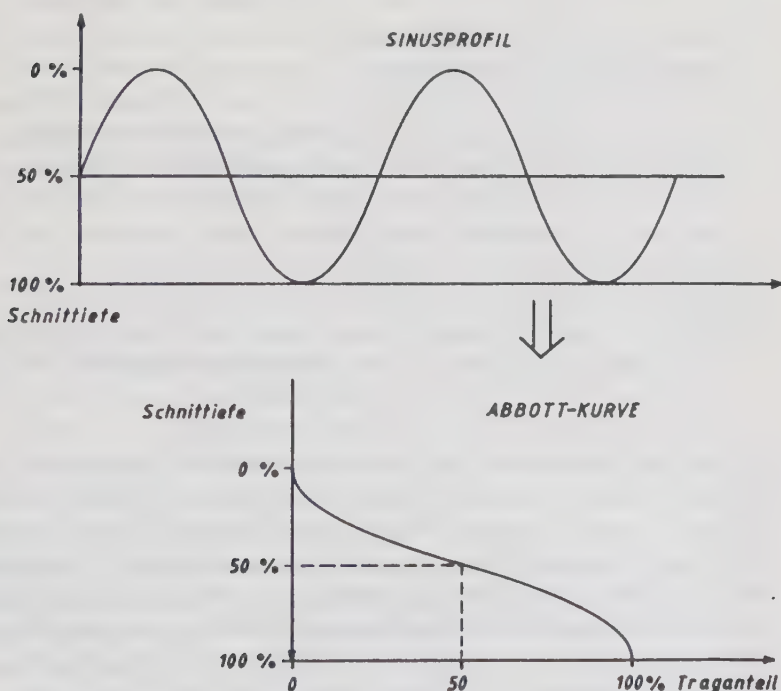


Abb. 27 Sinusprofil und zugehörige Abbott-Kurve

Die Abbott-Kurve ermöglicht Aussagen über die gängigen Rauheitsparameter, wie sie bisher schon zur Auswertung herangezogen wurden. Darüber hinaus werden die Berge und Täler eines

Hautareals in ihrer ganz charakteristischen Form erfaßt. Es liegt also kein relativ großes Stufenraster von Profilmerkmalen vor, sondern kontinuierliche, integrierte Werte.

Um Auswertungen nach diesem Verfahren durchführen zu können, wäre allerdings ein Rechnerprogramm nötig, um die Abbott-Kurven aus fünf oder mehr Einzeltastschnitten einer Laufrichtung überlagern zu können, also eine gemittelte Abbott-Kurve eines Hautareals zu erhalten.

4.8. Kritische Bemerkungen zu den Meßergebnissen

Im Abschnitt 3.3.4. haben wir eine Reihenfolge der rauhesten und glattesten Hautareale angegeben.

Die höchsten Rauigkeitswerte im Bereich der Kniescheibe überraschen nicht, da es sich um ein Hautareal handelt, das funktionsbedingt großen Stauchungs- und Dehnungsprozessen ausgesetzt ist. Dies gilt ebenso für die Achselregion, bei der die Hautoberflächenform der Haarfollikel einen weiteren Faktor darstellt, der den Wert der Hautrauigkeit erhöhen dürfte.

Überraschend steht die Periumbilikalregion an dritter Stelle in der Reihenfolge der rauhesten Hautareale. Das Ergebnis ist durch die verstärkte Faltenbildung bei Erwachsenen und alten Menschen erklärbar. Allerdings ist bei Kindern die Nabelregion sowohl klinisch als auch nach unseren Ergebnissen glatter.

Bei den im Durchschnitt glattesten Hautarealen Schienbein und Wade handelt es sich um Bereiche, die praktisch keiner mechanischen Funktion ausgesetzt sind. Das Schienbein dürfte deshalb bezüglich seiner Vertikalparameter noch geringere Werte aufweisen als die Wadenregion, da hier praktisch keine Muskulatur unterhalb des subkutanen Gewebes eine Bewegung der darüberliegenden Hautoberfläche bewirkt, was durch die eigenen Meßergebnisse auch bestätigt wird.

Bei Kindern gehört die Stirn zu den glattesten Hautarealen während sie bei alten Menschen durchschnittliche Rauigkeitswerte aufweist. Diese Tatsache führen wir auf die Tätigkeit der mimischen Muskulatur, Umwelteinflüsse und genetische Faktoren zurück.

Wie aus obiger Diskussion hervorgeht, messen wir der Einwirkung

funktioneller Komponenten auf die Struktur des Hautprofils große Bedeutung bei:

Eine Altersentwicklung des Rauigkeitsprofils der Hautoberfläche bedeutet eine Zunahme von Hautarealen mit deutlicher Vorzugsrichtung und eine Verstärkung der Vorzugsrichtung an einem Hautareal. Diese Tatsache könnte zum größten Teil auf die funktionelle Beanspruchung der Haut zurückzuführen sein.

Die Hautfunktion dürfte auch derjenige Faktor sein, der mit zunehmendem Alter die Hautrauhigkeit ansteigen läßt.

Eine Erklärung für die Glättungsprozesse der Hautoberfläche bezüglich der Längsläufe bei erwachsenen Frauen haben wir nicht.

Wie aus den Untersuchungen über die Altersentwicklung der Spitzenzahlen hervorgeht, nimmt die Anzahl der Hautfurchen pro Flächeneinheit mit zunehmendem Alter ab. Dieses Altersverhalten der Hautoberfläche könnte damit zu erklären sein, daß die Hautfalten prinzipiell mit der Geburt angelegt sind und durch den Wachstumsprozess "auseinandergezogen" werden.

Die Altersentwicklung der Haut stellt also einen Prozess dar, der durch die Faktoren Wachstum, Funktion und Umwelteinflüsse beeinflusst wird, wobei hier über die Umwelteinflüsse im Zusammenhang mit einem Alterungsprozess keine Aussage gemacht werden kann.

4.9. Abschließende Gedanken für das weitere Vorgehen bei Rauigkeitsmessungen

Es ist anzunehmen, daß die Hautrauhigkeiten für die einzelnen Hautareale eines Individuums ganz charakteristische Werte darstellen, die in ihrer Gesamtheit vermutlich genetisch bedingt nur an eben diesem Individuum so vorkommen.

Wie stark die Hautrauhigkeitsparameter homologer Hautareale zweier Probanden gleichen Geschlechts und gleichen Alters differieren, zeigt Tabelle 4. Diese Meßergebnisse dürften für die Überlegungen zum weiteren Vorgehen für Signifikanznachweise bei kosmetischer Behandlung oder bei Dokumentationen des Verlaufes pathologischer Prozesse, die sich an der Hautoberfläche manifestieren, ausschlaggebend sein.

Es erscheint daher nicht geeignet Mittelwerte aus wahllos zusam-

mengestellten Probandenpools auszuwerten, wie es Cook (2), Hoppe (5) u.ä. praktizieren.

Hoppe weist allerdings darauf hin, daß noch feinere Analysen kosmetischer Effekte möglich sind, wenn lediglich die Daten zusammengefaßt werden, die pro Proband gewonnen werden. Somit unterbleibt die Zusammenfassung aller Daten für das Kollektiv. Auch die Auswertung erfolgt in der Weise, daß die Effekte für jeden einzelnen Probanden getrennt berechnet werden.

In Anbetracht dieser Erkenntnisse wird eine Unterscheidung der einzelnen Probanden hinsichtlich Alter, Geschlecht, Phänotyp der Haut (normal - fettig - trocken), Phänotyp der Probanden (Lep-tosom - Athlet - Pykniker o.ä.), Beruf und Lebensgewohnheiten angeregt.

Es sollte also eine genaue Einteilung getroffen werden, bevor Probandenpools zusammengestellt werden. Unter Umständen sollte sogar eine Einteilung nach vorausgegangener subjektiver Beurteilung hinsichtlich morphologischer Aspekte der zu untersuchenden Hautareale erfolgen. Danach könnten dann beispielsweise für die einzelnen Probandengruppen Rauigkeitskennwerte der einzelnen Hautareale angegeben werden und ebenso pathologische Abweichungen von der Norm oder eine eingeschränkte Altersentwicklung, ohne daß Vergleiche von unbeteiligten homologen Hautarealen zur Verfügung stehen müßten.

5. Zusammenfassung

Zur Bestimmung der Rauigkeit von Hautoberflächen wurden in den letzten Jahren mehrere Verfahren entwickelt, wobei sich die Profilometrie nach dem Tastschnittprinzip als eleganteste Lösungsmöglichkeit dieser Problemstellung erwiesen hat.

Dazu muß vom zu vermessenden Hautareal zunächst ein Abdruck mit einer dünnfließenden Dentalabdruckmasse, z.B. Xanthopren plus, hergestellt werden, von dem man durch Übersichten mit einem Kunstharz ein Positiv erhält. Diese Hautreplika kann für die Messungen an einem Tastschnittgerät verwendet werden. Dabei zeichnet ein Tastkopf, der sich mit einer Gleitkufe auf der zu vermessenden Oberfläche abstützt, mit Hilfe einer in Vertikalrichtung beweglichen Diamantnadel das Profil entlang einer Meßstrecke

definierter Länge auf und führt die ermittelten Werte nach entsprechender elektronischer Verarbeitung einem Drucker zu.

Mit Hilfe dieses Verfahrens lassen sich mit relativ einfachen Mitteln reproduzierbare Meßwerte gewinnen, wobei fünf Tastschnitte pro Laufrichtung genügen, um hinreichend genaue Rauigkeitswerte zu erhalten.

Mit Hilfe der dargestellten Untersuchungsmethoden konnte gezeigt werden, daß ein bestimmtes Hautareal eines Probanden eine sehr kontinuierliche dreidimensionale Struktur darstellt, deren Strukturmerkmale sich immer wiederholen. Erwartungsgemäß zeigen die verschiedenen Hautareale eines Probanden eine außerordentlich hohe Schwankungsbreite. Beim Vergleich homologer Hautareale innerhalb einer Altersgruppe zeigt die Haut eine zum Teil hohe individuelle Schwankungsbreite.

Weiterhin konnte eine Reihenfolge der rauhesten und der glattesten Hautareale innerhalb des gesamten Probandenpools angegeben werden. Dabei gehören Kniescheibe, Achsel sowie bei älteren Menschen die Periumbilikalregion zu den rauhesten, Stirn, Wade und Schienbein zu den glattesten Hautarealen.

Die vorgestellten Ergebnisse stellen Tendenzen in einer Altersentwicklung dar, wonach mit zunehmendem Alter eine Vergröberung der Hautstruktur durch die Abnahme der Anzahl der Hautfalten und die Zunahme der Rauigkeitswerte der Vertikalrichtung entsteht. Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang Glättungsprozesse, die sich bezüglich der Längsläufe bei erwachsenen Frauen im Vergleich zu den anderen Altersgruppen in der Vertikaldimension abzeichnen. Eine Ausnahme in dieser Altersentwicklung stellt der Handrücken dar.

Ein weiterer Aspekt in der Altersentwicklung ist die funktionsbedingte Ausbildung von Vorzugsrichtungen, also Unterschieden zwischen Quer- und Längslaufrichtungen, mit zunehmendem Alter.

Bestätigt werden konnte die Annahme, daß Hautareale des männlichen Geschlechts einer Altersgruppe durchschnittlich rauher sind, als die entsprechenden Hautareale des weiblichen Geschlechts.

Ein Vergleich von morphologisch identischen Hautarealen an sich oder deren Reaktion auf Effekte von Kosmetika erscheint nur möglich, wenn mehrere Rauheitsparameter zusammen erfaßt werden. Deshalb wird ein graphisches Verfahren zur genaueren Charakterisierung eines Hautareals vorgestellt, das mehrere Rauheitsparame-

ter in einer Darstellung zusammenfaßt und die Feststellung feiner individueller Unterschiede ermöglicht.

Mit dem Verfahren der Profilometrie nach dem Tastschnittprinzip steht eine Methodik zur Verfügung, Hautoberflächen, bei denen das menschliche Auge keine Aussagen über Unterschiede in der Rauigkeit oder der Oberflächenmorphologie zuläßt, so genau zu charakterisieren, daß eine individuelle Unterscheidbarkeit möglich wird.

6. Tabellarium

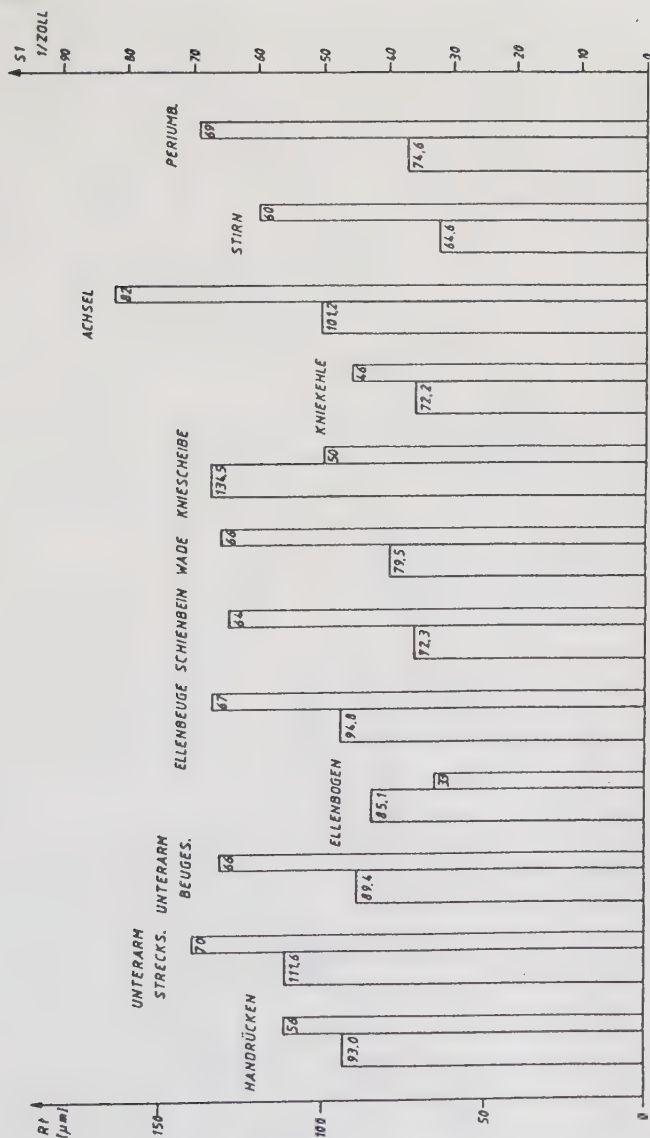


Abb. 28 4 J / männlich / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl Sl als dünner Balken

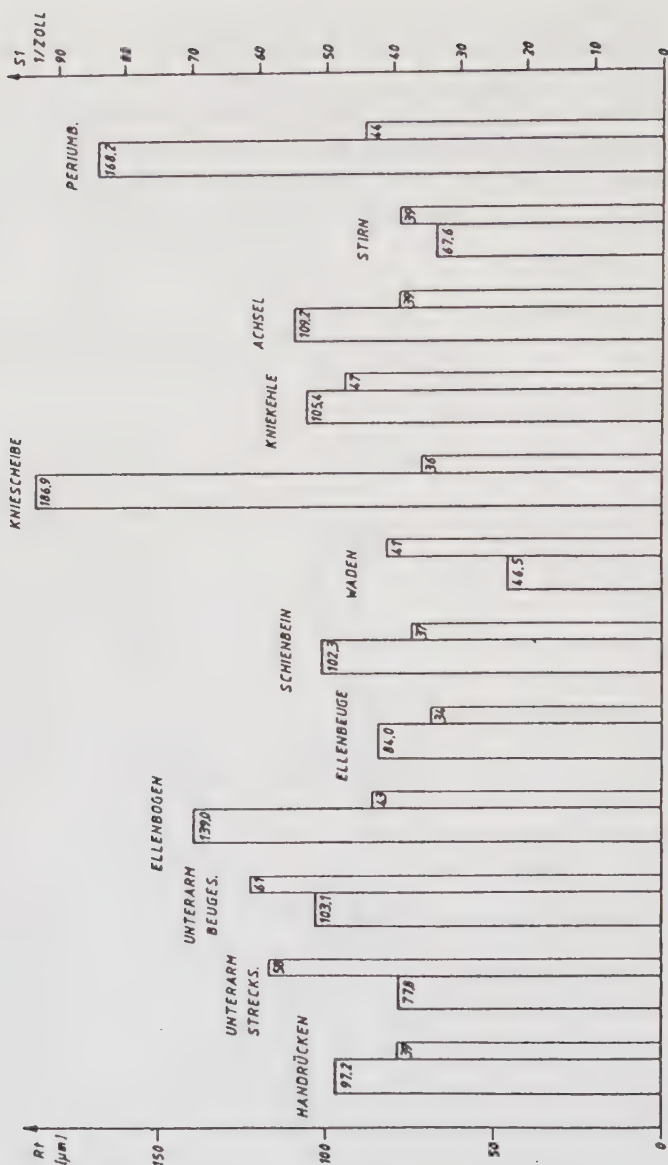


Abb. 29 25 J / männlich / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl Sl als dünner Balken

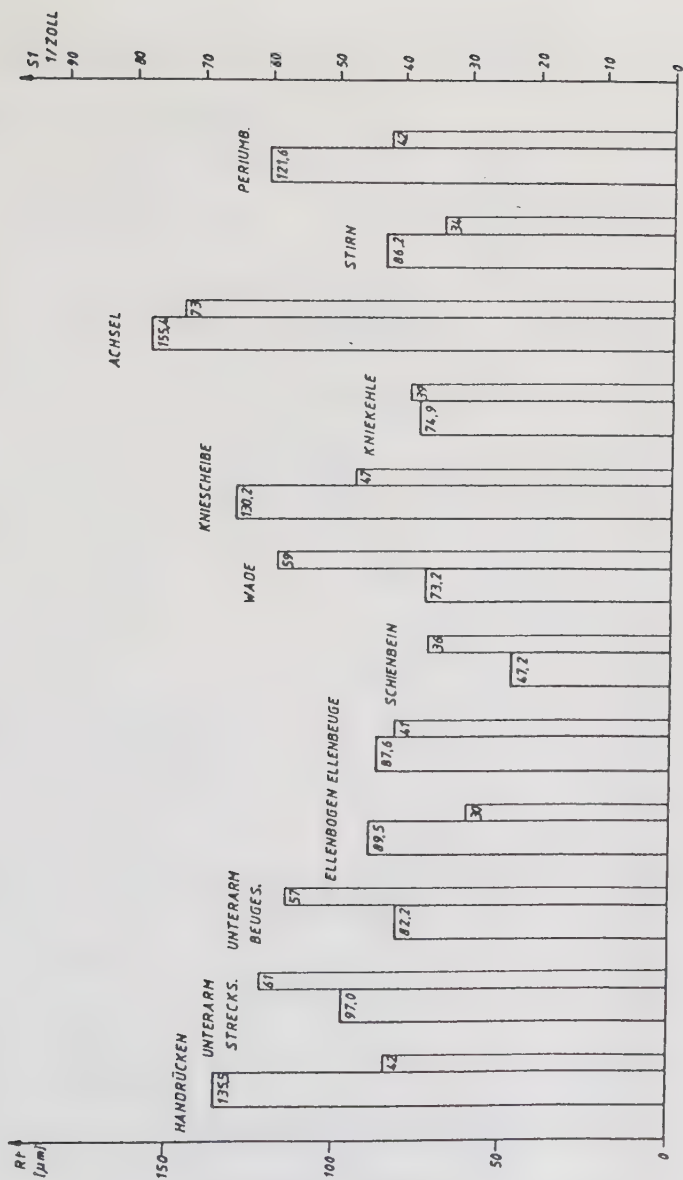


Abb. 30 25 J / männlich / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl Sl als dünner Balken

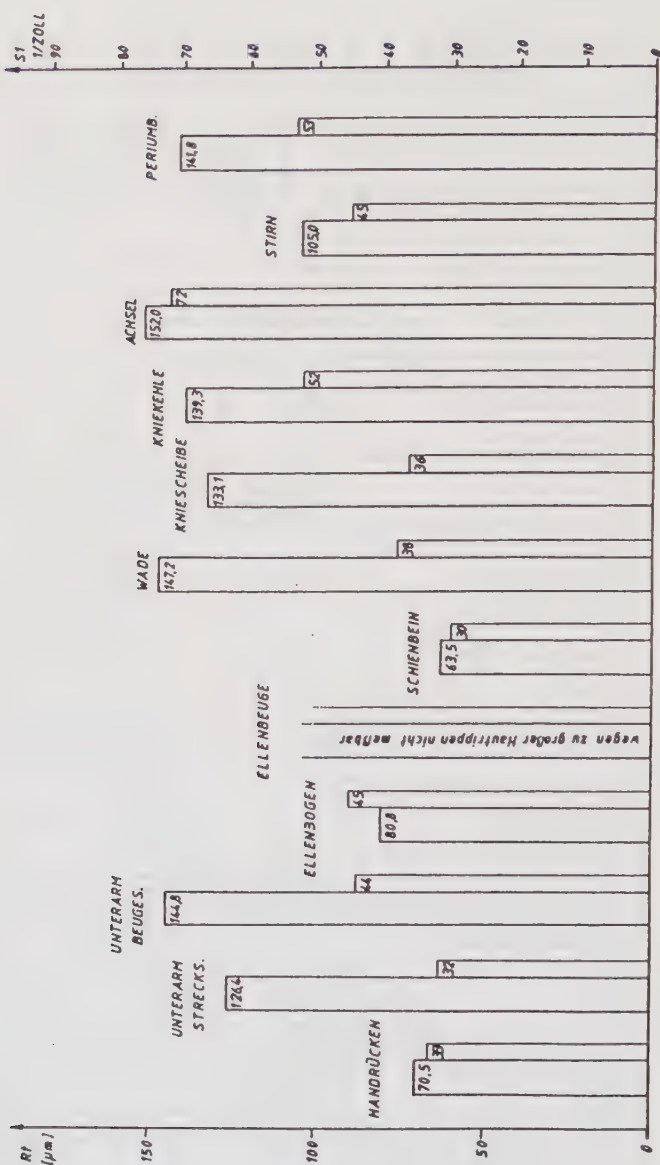


Abb. 31 84 J / männlich / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl Sl als dünner Balken

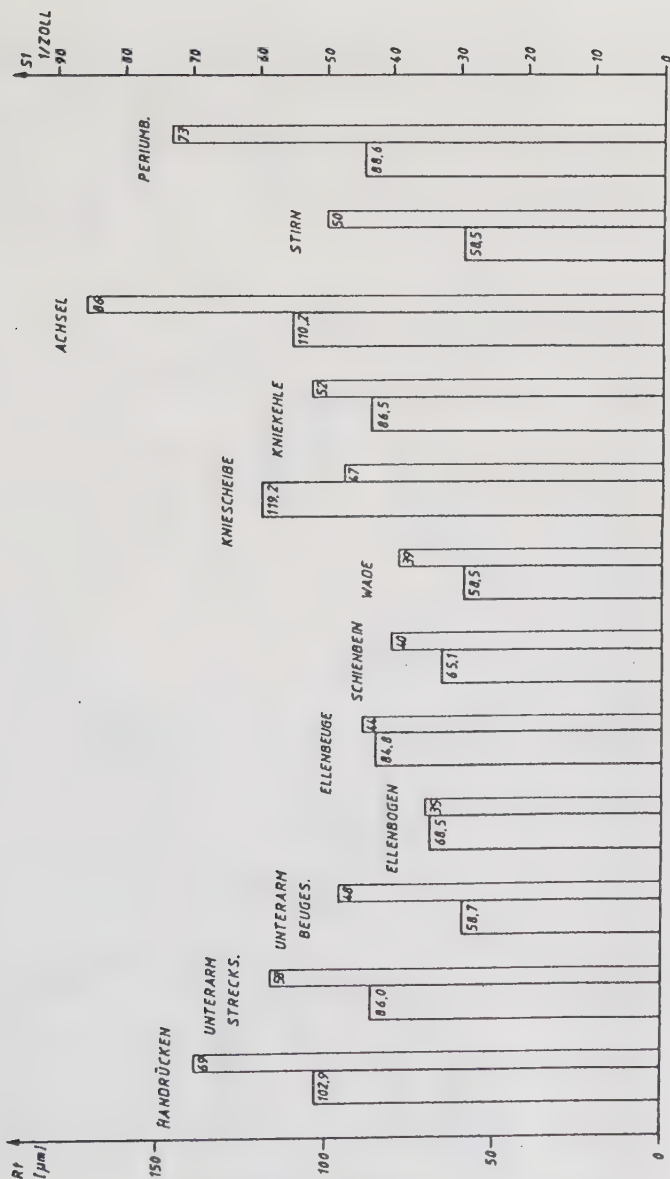


Abb. 32 6 J / weiblich / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl Sl als dünner Balken

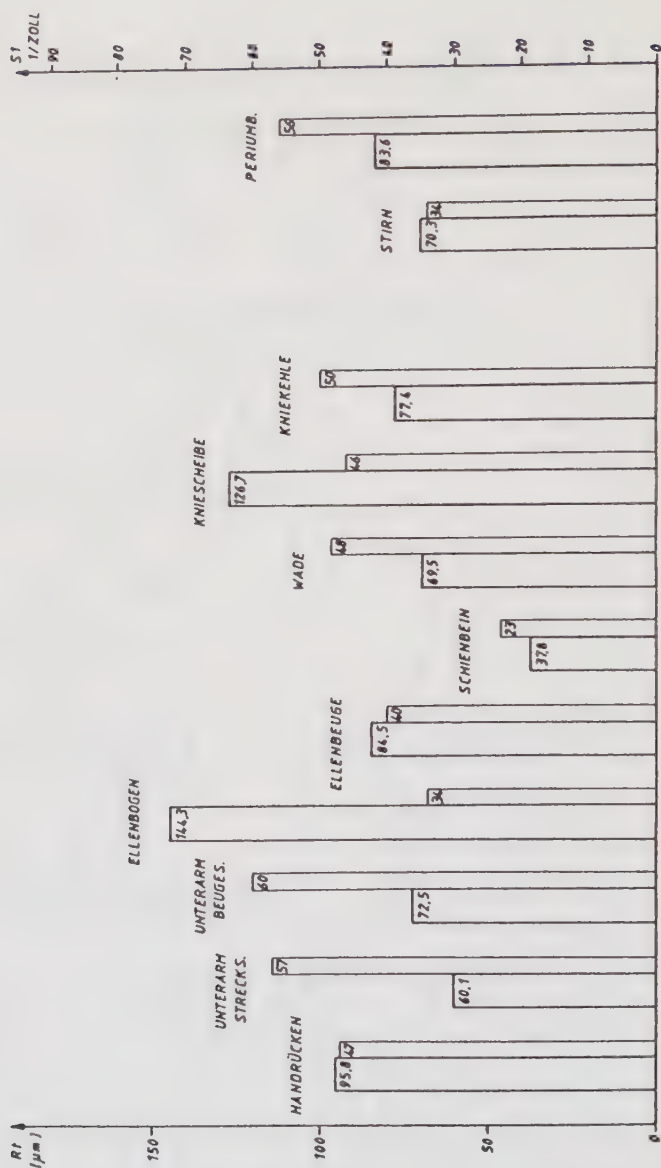


Abb. 33 28 J / weiblich / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe R_t als dicker Balken und die Spitzenzahl Sl als dünner Balken

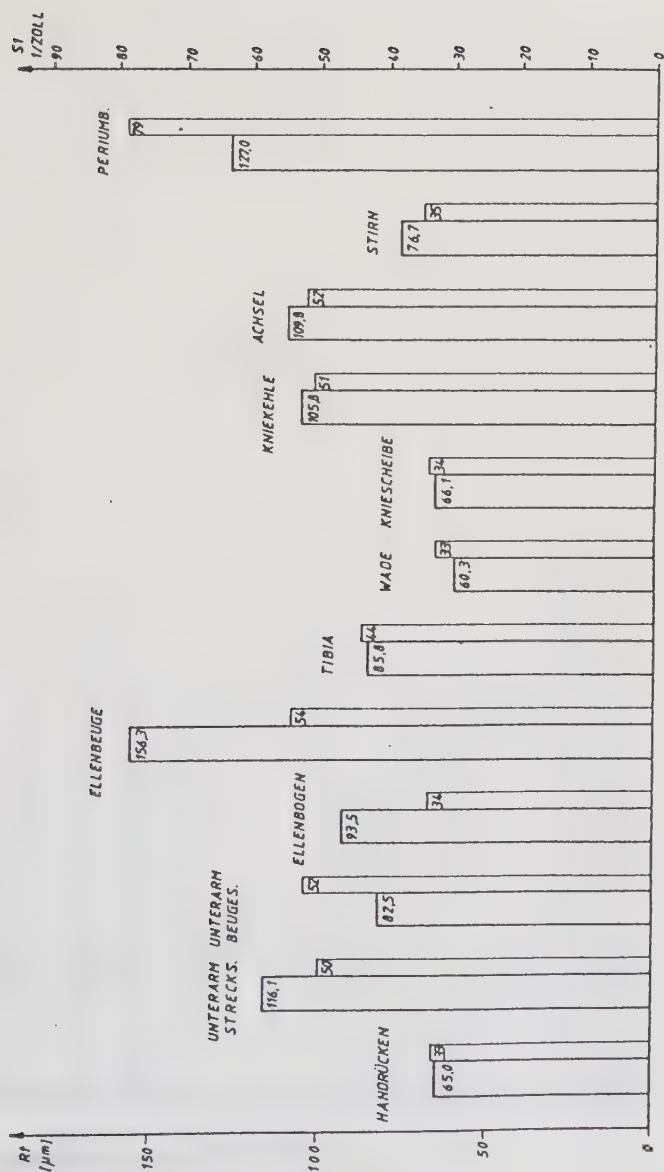


Abb. 34 69 J / weiblich / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl Sl als dünner Balken

Rt/S1



Abb. 35 Meßwerte aller Probanden für den Handrücken / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

Rt/S1

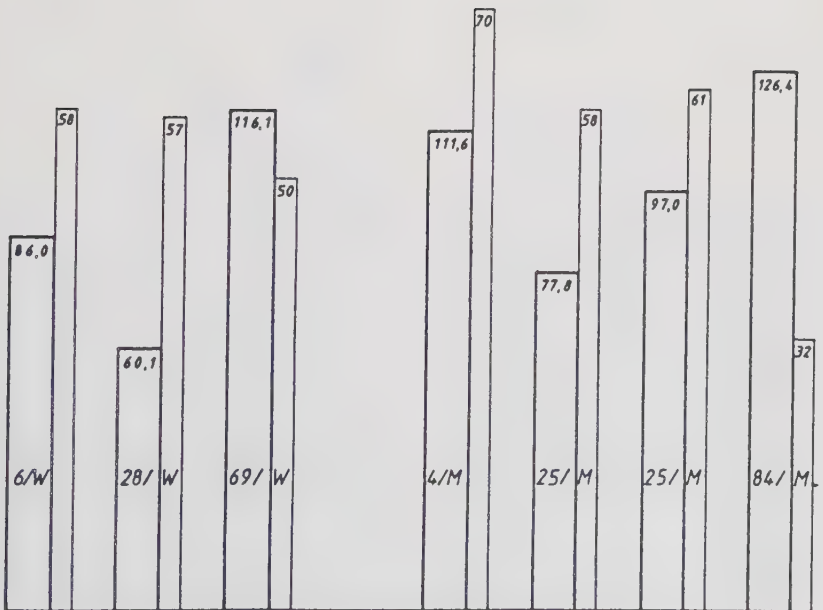


Abb. 36 Meßwerte aller Probanden für Unterarm-Streckseite / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

Rt/S1

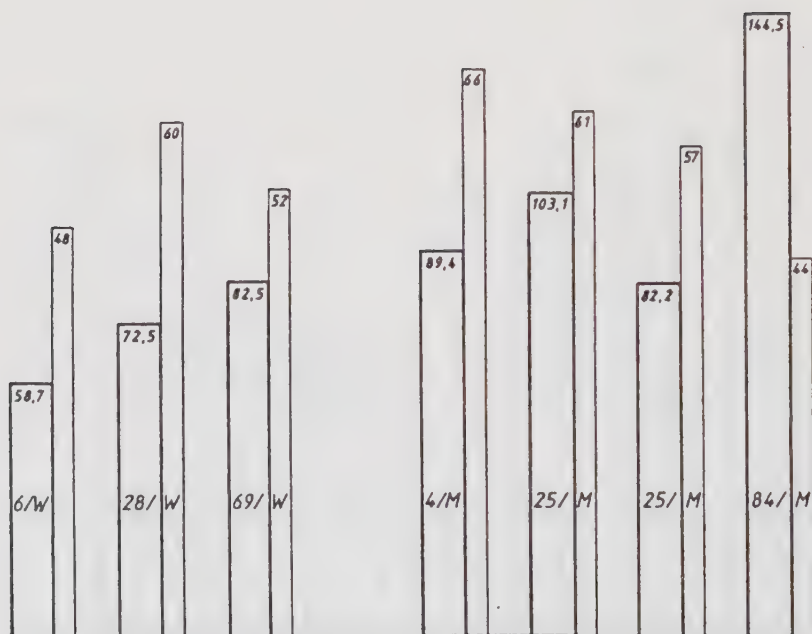


Abb. 37 Meßwerte aller Probanden für Unterarm-Beugeseite / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

Rt/S1



Abb. 38 Meßwerte aller Probanden für Ellenbogen / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

Rt/SI

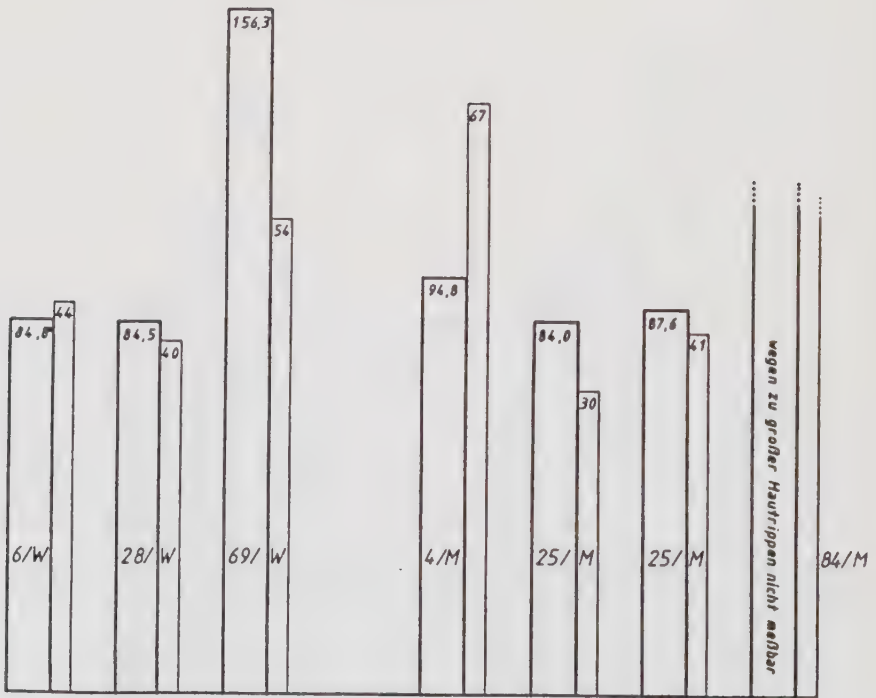


Abb. 39 Meßwerte aller Probanden für Ellenbeuge / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl SI als dünner Balken

Rt/S1

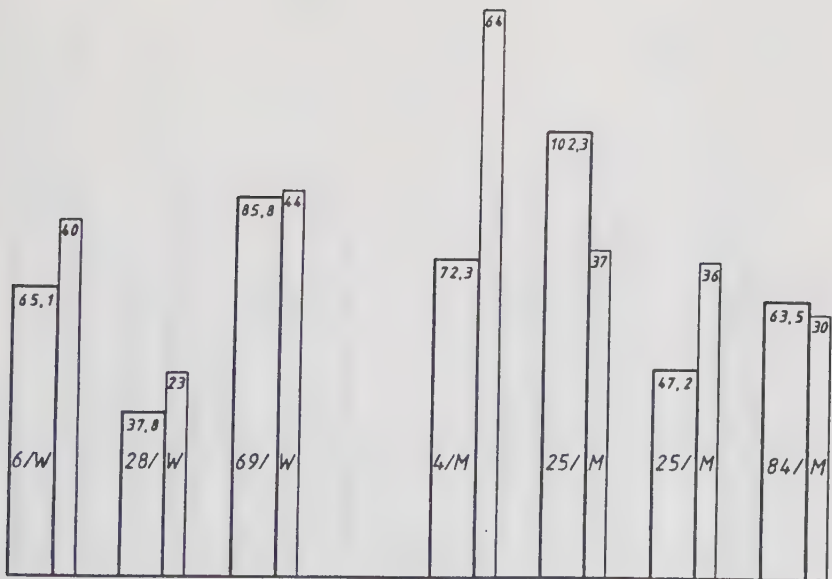


Abb. 40 Meßwerte aller Probanden für Schienbein / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

Rt/S1

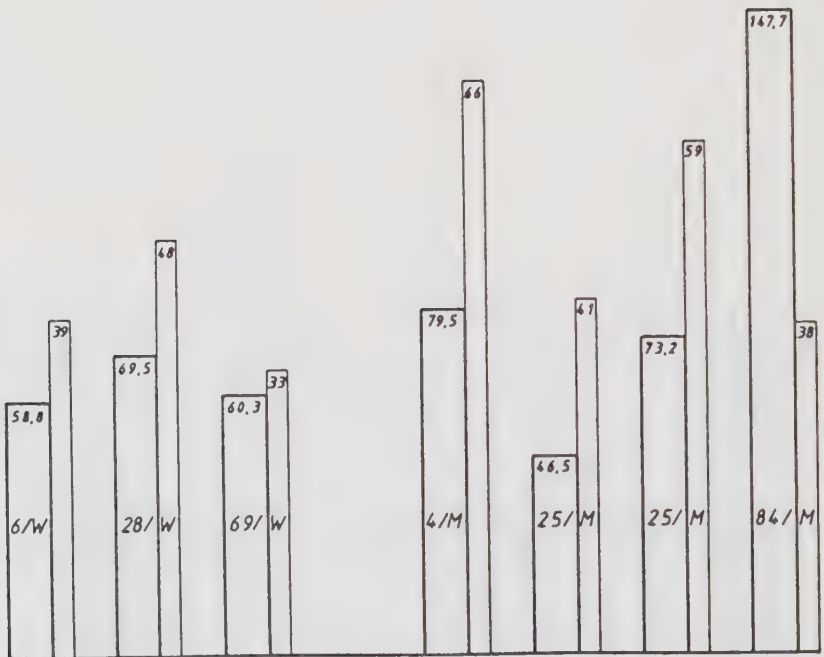


Abb. 41 Meßwerte aller Probanden für Wade / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken



Abb. 42 Meßwerte aller Probanden für Kniescheibe / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

Rt/S1

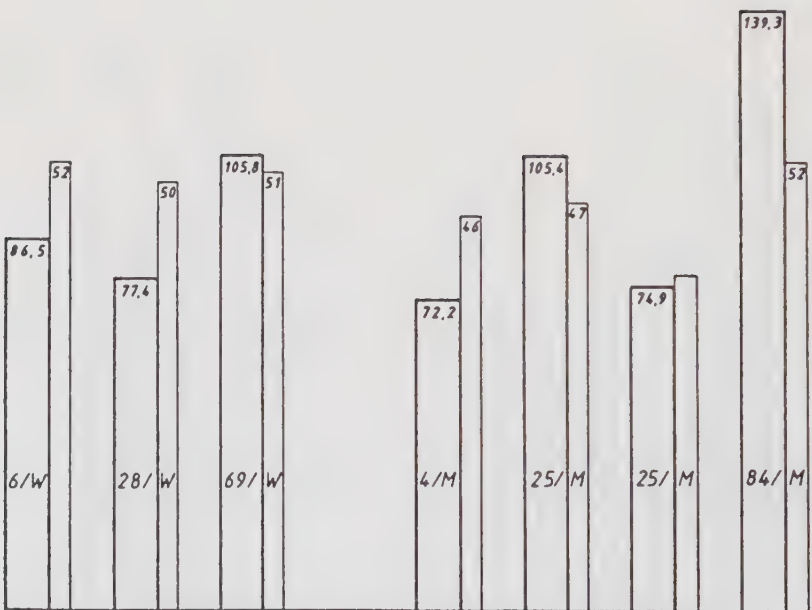


Abb. 43 Meßwerte aller Probanden für Kniekehle / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

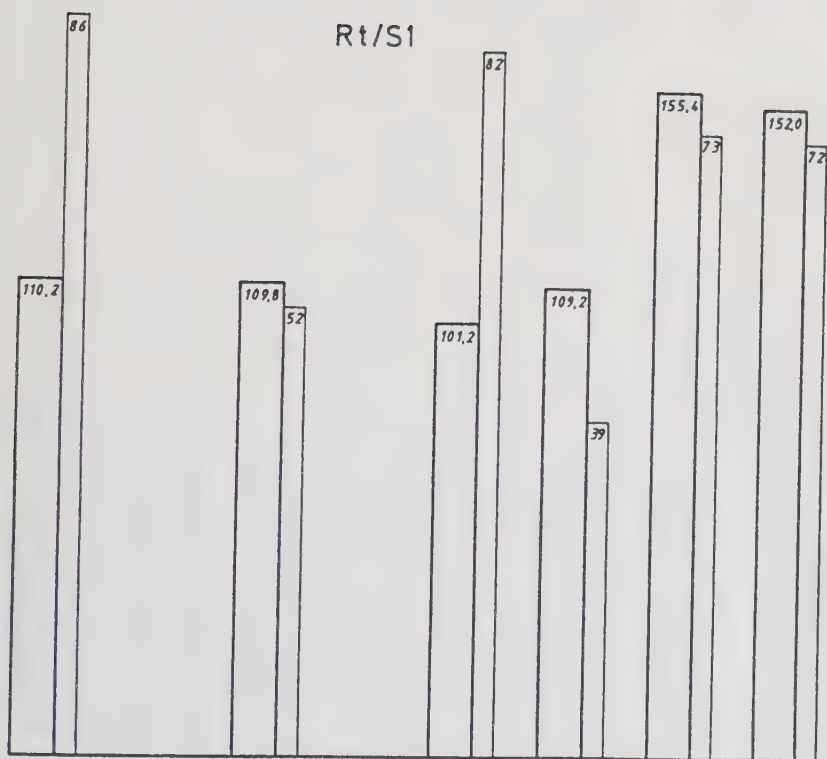


Abb. 44 Meßwerte aller Probanden für Achsel / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

Rt/S1

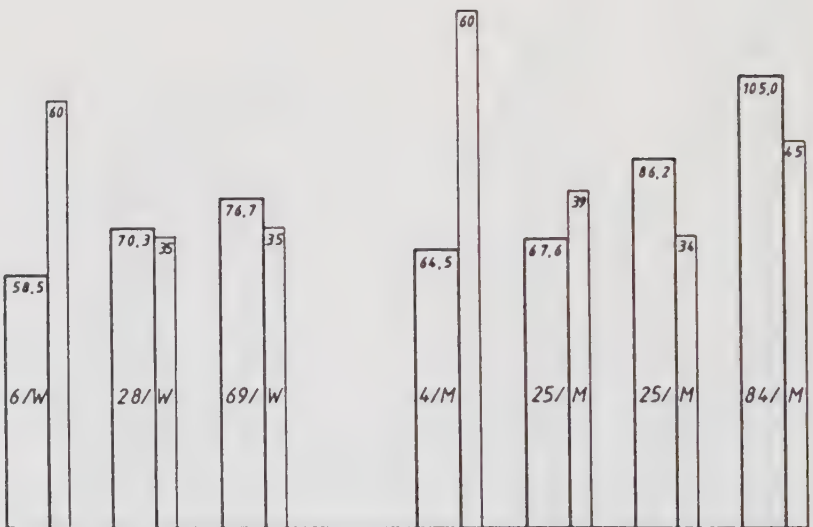


Abb. 45 Meßwerte aller Probanden für Stirn / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

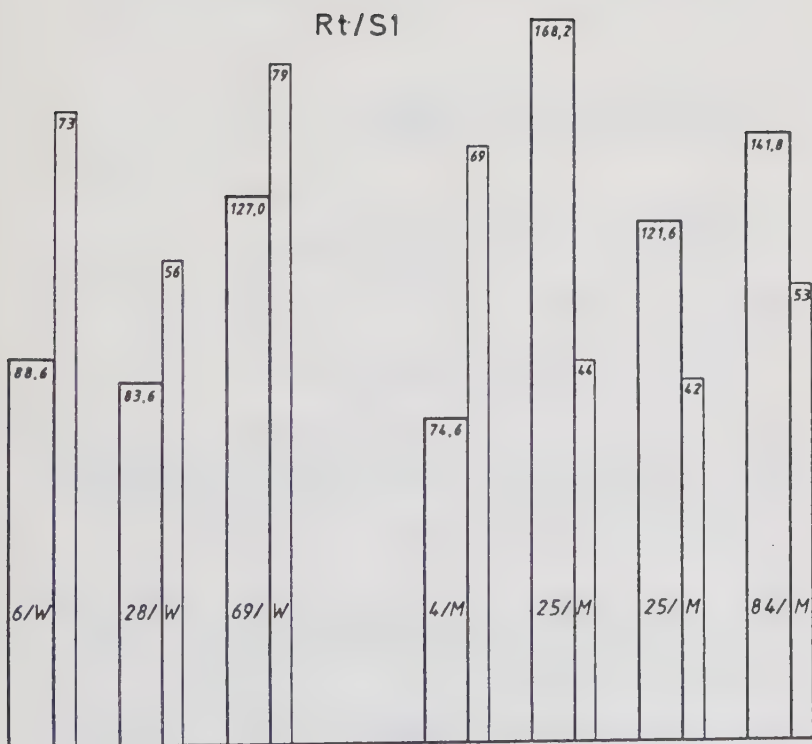


Abb. 46 Meßwerte aller Probanden für Periumbilikalregion / Querläufe

Zur Darstellung kommen die maximale Rauhtiefe Rt als dicker Balken und die Spitzenzahl S1 als dünner Balken

7. Literaturverzeichnis

- 1.) Barbenel J.C., Ferguson J. (1980)
Skin surface patterns and the directional mechanical properties of the dermis
veröffentlicht in:
Proceedings of the International Symposium on Bioengineering and the skin , 83 - 92 , Cardiff / UK
- 2.) Cook T.H. und Mitarb. (1982)
Quantification of the skin's topography by skin profilometry
Int. J. Cosmet. Sci. , 4 , 195 - 205
- 3.) El - Shimi A.F. (1977)
In vivo skin friction measurements
J. Soc. Cosmet. Chem. 28 , 37 - 51
- 4.) Gebrauchsanweisung zum Perthometer S 5 P
Herausgeber: Firma Mahr / Esslingen a.N.
- 5.) Hoppe U. 1979
Topologie der Hautoberfläche
J. Soc. Cosmet. Chem. 30 , 213 - 239
- 6.) Hoppe U., Luderstädt R., Sauermann G. (1986)
Quantitative Analyse der Hautoberfläche mit Hilfe der digitalen Signalverarbeitung
Ärztl. Kosmet. 16 , 13 - 37
- 7.) Jordan R., Streckert G. (1981)
Beeinflussung der Glätte der Haut durch Baden
Ärztl. Kosmet. 11 , 260 - 266
- 8.) Kadner H., Biesold C. (1971)
Zur Technik der Rauheitsmessung der Hautoberfläche mit dem Perthometer
Derm. Mschr. 157 , 758 - 759

- 9.) Kampik E. (1986)
Die Struktur der menschlichen Hautoberfläche in verschiedenen Altersstufen
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung mit Hilfe der Replika-Methode
Inaugural Dissertation
Ludwig Maximilians Universität München / Sachbereich Medizin
- 10.) King C.S., Barton S.P., Nichols S., Marks R. (1979)
The change in properties of the Stratum corneum as a function of depth
Br. J. Der. 100 , 165 - 172
- 11.) Makki S., Barbenel J.C., Agache P. (1979)
A quantitative method for the assement of the microtopography of human skin
Acta Dermatovener. 59 , 258 - 291
- 12.) Marks R., Dawber R.P.R. (1971)
Skin Surface Biopsy - an improved technique for the examination of the horny layer
Br. J. Der. 84 , 117 - 123
- 13.) Marks R., Pearse A.D. (1975)
Surfometry - A method of evaluating the internal structure of the Stratum corneum
Br. J. Derm. 92 , 651 - 657
- 14.) Naylor P.F.D., M.A., M.D. (1955)
The skin surface and friktion
Br. J. Derm. 67 , 239 - 248
- 15.) Nichols S., King C.S., Marks R. (1978)
Short term effects of emollients and bath oil on the Stratum corneum
J. Soc. Cosmet. Chem. 29 / 617 - 624

- 16.) Nichols S., Marks R. (1977)
Novel techniques for the estimation of intracorneal cohesion
in vivo
Br. J. Derm. 96 , 595 - 602
- 17.) Salfeld K., Gebhardt K. (1973)
Vergleichende Untersuchungen zur Wirkungsweise verschiedener
"Verjüngungscremes" auf die alternde Haut
Ärztl. Kosmet. 3 , 108 - 111
- 18.) Schneider W., Tronnier H., Bussius M.
Weitere Untersuchungen an Hautschutzsalben mit einer neuen
Methodik
Der Hautarzt , 10. Jahrgang , 5 , 205 - 208
- 19.) Szakall A., Stüpel H. (1957)
Die Wirkung von Waschmitteln auf die Haut (S. 99)
Dr. Alfred Hüthig Verlag Heidelberg
- 20.) Tronnier H. (1960)
Zur Prüfung des Effektes von Rasierhilfsmitteln
Sonderdruck aus Aesthetische Medizin
9. Jahrgang , 8 , 241 - 246
- 21.) Tronnier H., Eibacher I. (1970)
Über eine neue Methode zur Messung der Rauigkeit der Haut
Berufsdermatosen 18 , 89 - 95
- 22.) Weck M., Leube H., König W., Vossen K., Burchard W-G.,
Hecktor E., Gerhard H. (1984)
Darstellung realer Oberflächen mit Hilfe der Stereo -
Photogrammetrie
Antriebsmechanik 23 , 12 , 34 - 39
- 23.) Weinstein S. (1978)
New methods for the in-vivo - assessment of skin smoothness
and skin softness
J. Soc. Cosmet. Chem. 29 , 99 - 115

Danksagung:

Herrn Professor Dr. med. Dr. h.c. O. Braun - Falco danke ich für die freundliche Überlassung des Themas.

Herrn Dr. med. F. Ryckmanns danke ich für die immer freundliche Unterstützung und Beratung bei der Durchführung der Arbeit.

Herrn Professor Dr.-Ing. H. Winter, Institut für Konstruktion, Lehrstuhl für Maschinenelemente der Technischen Universität München und seinem Forschungsgruppenleiter Herrn Oberingenieur K. Michaelis danke ich für die stundenweise Überlassung des Perthometer - Meßplatzes sowie Herrn Dipl.-Ing. F. Prexler für die Anleitung zum Betrieb des Gerätes.

LEBENS LAUF

Am 17. Februar 1959 wurde ich, Uwe Hoestermann, als Sohn des Diplomingenieurs Karl-Ernst Hoestermann und seiner Ehefrau Irmentraut, geb. Spork in München geboren.

Von Herbst 1965 bis Herbst 1968 besuchte ich die Grundschule an der Eversbuschstraße in München 50 und danach bis Herbst 1969 die Grundschule an der Haldenbergerstraße in München Hartmannshofen mit anschließendem Übertritt an das Gymnasium Dachau (Josef-Effner-Gymnasium). Dort legte ich im Sommer 1978 die Hochschul-Reifeprüfung ab.

Den Bundeswehrdienst leistete ich vom 1.7.1978 bis zum 30.9.79 beim 4. Gebirgsjägerbataillon 232 in Berchtesgaden.

Im Mai 1980 erhielt ich einen Studienplatz in Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Die zahnärztliche Vorprüfung bestand ich am 25.10.1982, die Approbation erhielt ich am 17. Februar 1986.

Vom 1.4.1986 bis 30.6.1986 arbeitete ich als Assistenzzahnarzt bei Herrn Dr. med. dent. K.-H. Holdenrieder in Ismaning.

Uwe Hoestermann

